

Tartu Ülikool

Loodus- ja täppisteaduste valdkond

Ökoloogia ja Maateaduste instituut

Geograafia osakond

Magistritöö geoinformaatikas ja kartograafias 30 EAP

**Maastiku läbitavuse mõju teekonna valikutele 2017. a  
orienteerumise maailmameistrivõistluste tavaraja näitel**

Tõnis Laugesaar

Juhendaja: dotsent Jüri Roosaare

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

Tartu 2018

## **Annotatsioon**

### **Maastiku läbitavuse mõju teekonna valikutele 2017. a orienteerumise maailmameistrivõistluste tavaraja näitel**

Käesoleva magistr töö eesmärgiks oli võrrelda Lõuna-Eestis toimunud orienteerumise maailmameistrivõistluste tavaraja näitel orienteerujate tegelikke liikumisvalikuid omavahel ning ruumiandmete analüüsi varal leitud optimaalvariandiga. Töös antakse ülevaade maastiku läbitavuse mõjust orienteerumisspordis. Läbitavuse mõju hindamisel kasutati rahvusvahelise orienteerumisliidu poolt sätestatud läbitavuse e aeglustus koefitsiente. Töö käigus leiti, et läbitavuse põhjal arvutatud optimaalsed teekonnad kattusid suures osas võistlejate teekondadega. Lisaks tuvastati tugev seos võistleja lõppkoha ja läbitud distant si vahel. Töö tulemused näitavad, et kasutatud metoodika sobib hästi läbitavuse mõju hindamiseks teevalikute planeerimisel.

**Märksõnad:** orienteerumine, orienteerumiskaart, läbitavus, teekond

**CERCS:** P510 kartograafia

### **Impact of landscape permeability on route choices using 2017 World orienteering championship data**

The aim of current thesis was to compare orienteerings route choices with each other and with optimal route based on spatial data analyses using 2017 World orienteering championships data. This thesis provides an overview of impact of landscape permeability to route choice behaviour in orienteering sport. In order to estimate landscape permeability the coefficient of deceleration was used. It was found that calculated optimal routes were identical to route choices made by competitors. In addition strong correlation was found between competitor results and traveled distance. Therefore, it can be concluded from the results that selected methodology is suitable for estimating impact of landscape permeability on route choice behaviour.

**Keywords:** orienteering, orienteering map, permeability, route choice

**CERCS:** P510 cartography

# Sisukord

Mõisted.....	4
1. Sissejuhatus .....	5
2. Teoreetiline ülevaade .....	7
2.1 Orienteerumiskaart .....	7
2.2 Nähtused orienteerumiskaardil.....	7
2.3 Orienteerumisrada .....	9
2.3.1 Maastiku ja kaardi seostamine .....	10
2.3.2 Teekonnavalik.....	10
2.4 Maastiku läbitavus.....	12
2.5 GPS orienteerumises .....	13
3. Andmed ja meetoodika .....	15
3.1 Uurimusala .....	15
3.2 Sündmuse kirjeldus. ....	17
3.3 Andmed .....	17
3.4 Analüüsi meetoodika.....	17
3.4.1 Andmete eeltöötlus .....	17
3.4.2 Optimaalse teekonna leidmine.....	19
3.4.3 Optimaalse teekonna läbimine.....	21
3.5 Andmete analüüs .....	21
4. Tulemused ja arutelu .....	22
4.1 Optimaalne teekond läbitavuse põhjal .....	22
4.2 Teevalikute välikontroll .....	26
4.2 Trajektooride hajuvus.....	27
4.3 Läbitavuse hindamine.....	32
5. Järeldused.....	35
Kokkuvõte .....	37
Summary .....	39
Kasutatud kirjandus.....	42
Lisad.....	45

## **Mõisted**

Kontrollpunkt (edaspidi KP) – maastikul ja kaardil tähistatud kohustuslik teekonnapunkt

Teekond – ühest KP-st teise liikumiseks kasutatav trajektoor.

Teevalik – üks teekonna valik paljudest, mida mööda liigutakse järgmisesse KP-sse

Etapijoon – kahte järjestikust KP-d ühendav sirgjoon

Linnulennuline teepikkus – sirgjooneliselt mõõdetud lühim võimalik kahe KP vaheline teepikkus. Keelualade puhul mõõdetud lühimat teed pidi ümber nende.

Mikroteevalik – teekonnast sõltumatu teevalik ümber/läbi mingi nähtuse sõltuvalt situatsioonist maastikul (nt pisisoo, tuulemurd)

## 1. Sissejuhatus

Orienteerumine on üha enam populaarsust koguv spordiala, mida harrastatakse nii metsas kui ka linnaruumis. Rahvusvahelise alaliidu poolt tunnustatud distsipliin on neli: jooksu-, suusa-, ratta- ning teeraja orienteerumine. Kõige levinum nende seast on jooksuorienteerumine. Orienteerumine ei ole lihtsalt krossijooks maastikul, vaid see hõlmab endas lisaks jooksumõimele ka oskust tunnetada end ümbritsevat keskkonda (Norouzi 2013). Võistlus käib aja peale, kus tuleb läbida KP-d etteantud järjekorras ning võidab kiireim. Orienteerujad pannakse igal võistlusel uue olukorra ette, kus nad peavad lahendama neile pakutud probleemülesandeid. Peamine ülesanne on leida vähima ajakuluga teekond ühest KP-st teise, võttes lisaks arvesse võistluse kestust. Võistlussituatsioonis raskendavad teevaliku otsustamist ajaline surve, ebakindlus ning etapi keerukus (Maquet *et al.* 2012). Teevaliku elluviimine sõltub iga indiviidi isiklikust orienteerumisoskusest ja kogemusest ning jooksu kiirusest.

Kahe punkti vahelise teevaliku langetamisel tuleb arvesse võtta teekonna pikkust, reljeefi liigestatust, maastiku läbitavust ja takistusi rajal. Maastiku läbitavus kirjeldab orienteerumiskaardil otsest mõju liikumiskiirusele ehk joostavusele mingi ala läbimisel (Eccles *et al.* 2002). Joostavuse kajastus kaardil on kaardi autori subjektiivne nägemus maastiku läbitavusest, mis on aasta-ajati erinev ning ei pruugi võistlusolukorras anda täpset tagasisidet tegeliku joostavuse kohta. Seetõttu korrigeeritakse suuremate võistluste jaoks läbitavus vastama võistluse aasta-aja tüüpilisele olukorrale. Lisaks mõjutab maastikul joostavust reljeef ning muutuv ilmastik, mis võib vihmase ilma korral muuta maastiku pehmeks ja libedaks.

Tänapäeva GPS tehnoloogia võimaldab jälgida võistlejate maastikul liikumist reaajas nii võistluskeskuses kui ka kodus arvuti taga. GPS-teekondade võistlusjärgne analüüs on viimaste aastate jooksul omandanud olulise osa sportlase arengust. Kui varasemalt joonistati liikumisteed umbkaudselt kaardile käsitsi, siis tänu GPS-le saab sportlane täpset tagasisidet oma liikumise ning orienteerumistehnika kohta. Võimalik on kindlaks teha millest tulenesid orienteerumisvead, millised teekonnad oleksid olnud kiiremini ja paremini läbitavad, kui tõhusalt viidi ellu teevalik ning millistes raja osades kaotati aega.

Igal aastal toimub eri riikides orienteerumise maailmameistrivõistlused (MM), mis toovad kokku maailma parimad orienteerujad. 2017. aastal toimusid võistlused Eestis,

keskusega Tartus. Võistluspaigad asusid Lõuna-Eesti eri paikades: Tartus, Viljandis, Rõuges ja Vitipalus. Tänu sellele avanes suurepärane võimalus uurida maailmatasemel orienteerujate võistlussooritusi meie omastes tingimustes. Töös on keskendutud vaid võistluse parimate (28 võistlejat) teekondade analüüsile, kuna nii kõrgel tasemel on orienteerumisvigu vähe. See omakorda võimaldab teekondi täpsemalt omavahel võrrelda.

Käesoleva töö eesmärgiks oli võrrelda orienteerujate tegelikke liikumisvalikuid omavahel ning ruumiandmete analüüsi varal leitud optimaalvariandiga. Uurimusobjektiks valiti tavarada kui distsipliin, millelt võib eeldada selliseid etappe, kus tehakse rohkelt erinevaid teevalikuid.

Senise teadmise (endise tipporienteeruja Olle Kärneri suulised andmed) alusel püstitan järgmised hüpoteesid:

Üldtendentsina on tippvõistlustel orienteeruja tulemus seda parem, mida lühem on tema poolt reaalselt läbitud teekond.

- Madalama reitinguga orienteerujad väldivad teevalikutel halvema läbitavusega alasid ja eelistavad võimalusel kasutada rohkem teeradasid.
- Lõuna-Eesti maastikul kiireimaks osutunud teevalik ei ole etapipikkusest kunagi pikem kui 20%.
- Vaatlusaluse Rõuge maastiku läbitavus suurendab trajektooride hajuvust.

Uurimustöö koosneb neljast osast. Esimeses osas antakse teoreetiline ülevaade orienteerumise temaatikast laiemalt, tuues esile orienteerumiskaardi olemuse, rajaplaneeringu, etapivalikud ning orienteeruja käitumist mõjutava psühholoogilise poole. Andmete ja metoodika osas põhjendatakse uurimusala valikut ning kirjeldatakse täpsemalt andmete töötlemist ja analüüsi. Töö kolmandas osas esitatakse põhilised tulemused ja viimases, järelduste peatükis vaadeldakse püstitatud hüpoteeside ja tulemuste vastavust ning antakse ülevaade maastiku läbitavuse mõjust teevalikule.

## **2. Teoreetiline ülevaade**

### **2.1 Orienteerumiskaart**

Orienteerumiskaart on orienteeruja peamine abivahend, mille abil läbitakse maastikul paiknevaid KP-sid. Täpne orienteerumiskaart on orienteeruja seisukohalt üks olulisemaid aspekte, mis tagab võrdsed tingimused kõigi orienteerujate vahel. Pinnavormide kuju korrektne kujutamine kaardil loob orienteerujale üheselt mõistetava kolmemõõtmelise pildi maastikust. Parimal juhul ei tohiks orienteeruja kaardi ebatäpsus(t)est saada kasu ega kahju. Ajakohastatud kaart võimaldab usaldusväärselt toetuda olemasolevale informatsioonile, mille alusel orienteeruja viib maastikul liikudes ellu oma teevalikud. Orienteerumiskaardi leppemärkide süsteem on paika pandud rahvusvahelisel tasandil, mis tagab globaalselt ühtlase kaardistusstiili (IOF kaardikomisjon 2017).

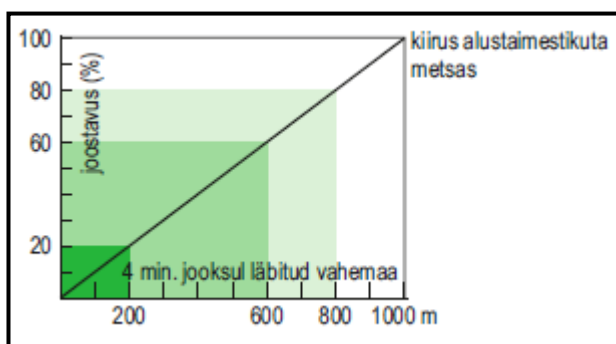
Orienteerumiskaart on kaardistaja nägemus maastikust. Selle valmistamise käigus on kasutatud erinevaid ruumiandmeid, näiteks aerofotosid, põhikaarti, LiDAR andmeid (Klaar 2010). Orienteerumiskaardi baasmõõtkava on 1:15 000, kasutatakse ka 1,5-kordset suurendust (1:10 000). Horisontaaljoonte löikevahe kaardil on 5 meetrit. Keskmiselt alla 5% nõlvakaldega maastike puhul võib kasutada ka 2,5 meetrise vahega horisontaale. Abihorisontaale kujutatakse katkendjoonena põhihorisontaalide vahel pinnavormide täpsemaks kujutamiseks (IOF kaardikomisjon 2017).

### **2.2 Nähtused orienteerumiskaardil**

Kaart peab võistluskiiruse juures kajastama kõiki selgelt hoomatavaid objekte ja nähtusi, mis mõjutavad inimese liikumist maastikul. Jooksmine ja halvad ilmastikutingimused raskendavad kaardi loetavust. Selle lihtsustamiseks on objektid klassifitseeritud värvide järgi viide klassi: 1) sinisega on kajastatud hüdrograafia, 2) pruuniga pinnavormid, 3) mustaga teed ja tehisobjektid, 4) kollasega avatud alad, 5) rohelisega taimestiku tihedus (IOF kaardikomisjon 2017).

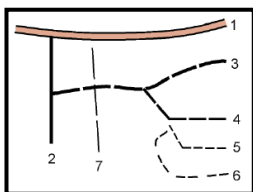
Metsa läbitavus sõltub puurinde ja alustaimestiku (puhmarinne, põõsarinne) tihedusest. Sõltumata metsatüübist on metsa läbitavus jooksukiiruse alusel jagatud nelja klassi (joonis 1). Halvema läbitavusega alad on näidatud kolme erinevat tooni rohelisega. Mida tumedam roheline, seda halvem läbitavus. Hästi joostav mets on kaardile kantud

valge värviga. Lisaks sõltub maastiku läbitavus maapinna iseloomust. Märgalad (sood, kraavid, nired) eristatakse kuivast pinnast omaette leppemärgiga, mida on võimalik kombineerida läbitavuse tingmärkidega. Maastikul esineb lisaks avatud alasid, mis on kaardile kantud kollase värviga. Lagedaid alasid eristatakse taimestiku alusel. Mida tumedam on kollane, seda kiiremini on ala läbitav. Kollase värviga on näidatud põllud või muruplatsid. Helekollane värv kajastab heinaseid lagedaid. Helekollane raster-täpitus viitab põõsarinde olemasolule heinasel lagedal (sh raiesmikele) ning must täpitus kollasel taustal haritavale põllumaale (Klaar 2010).



**Joonis 1.** Metsa läbitavuse jagunemine joostavuse alusel (IOF kaardikomisjon 2017).

Sinise värviga kantakse kaardile sood, veekogud, kraavid ja muud veeobjektid. Must joon ümber soo või veekogu näitab selle objekti ületamatust, kuid mis ei keela selle ületamist. Sood on jagatud kahte klassi. Sinise horisontaalse pidevjoone puhul on soo selgelt eristatav muust pinnasest. Katkendliku sinise joonega tähistatakse soostunud ala, mille piirid on ebaselged. Musta värviga näidatakse kaardil teid, mis on klassifitseeritud tee laiuse ja selguse alusel (joonis 2). Erandina tähistatakse pruuni laia joonega kõva kattega teed. Lisaks kasutatakse musta värvi hoonete, tehisobjektide, kivide jms puhul. Pruuni värvi reljeefijoontega on kaardil kajastatud suuremad ja väiksemad pinnavormid. Järskude nõlvadega maastikel mõjutab joostavust ka reljeef. Mida suuremad pinnavormid ning tõusu- ja langusnurgad, seda aeglasemaks osutub jooksukiirus (IOF kaardikomisjon 2017).



**Joonis 2.** Teede jagunemine klassidesse. 1-pinnatud autotee, 2-lai kruusatee, 3-kitsas autotee, 4-lai teerada, 5-jalgrada, 6-kaduv jalgrada, 7-siht (Klaar 2010).



## 2.3 Orienteerumisrada

Orienteerumisrada ja sellega seonduv (keelualad, tähistatud lõigud, läbipääsud, legend jms) on kaardile kantud violetse värviga (IOF kaardikomisjon 2017). Kaardil kasutatavad raja elemendid on järgmised:

- KP-d, mis näitavad punkti asukohta;
- järjekorra- ja punktinumbrid;
- KP-sid ühendavad etapijooned;
- start ja finiš (sh tähistatud lõigud).

Orienteeruja põhieesmärk on maastikule paigutatud KP-de läbimine võimalikult lühikese aja jooksul. Orienteeruja poolt läbitav tegelik raja pikkus on sõltuvalt maastikust ja raja ülesehitusest linnulennulisest teekonnast 10–30% pikem. Kogu võistlusraja pikkus (km) määratakse ajalise pikkusega (tavaraja puhul meestel 90-100 min), võttes arvesse eelnevaid samal või sarnasel maastikul peetud võistlusi. Raja pikkus on mõõdetud linnulennult läbides kontrollpunkte stardist kuni finišini. Ületamatutest ja keelatud objektidest on rada mõõdetud lühimat võimalikku sirgjoont mööda ümber nende (Klaar 2010).

Rajameistri ülesanne on planeerida kõigile võistlejatele jõukohased rajad. Maastiku valikul lähtutakse eelkõige ausa spordi reeglitest, mis eeldab, et maastik on hästi läbitav ning orienteerumistehniliselt nõudlik. Orienteerumisrada koosneb etappidest, mis pakuvad võistlejale intensiivset kaardilugemist ning palju erinevaid teevalikuid. Rada sisaldab endas erineva pikkuse ja raskusastmega etappe ning suunamuutusi, pannes proovile võistlejate oskused. Teevalikute rohkus tagab iga võistleja iseseisva probleemi lahendamise ning väldib koosjooksmise võimalust. Rajameister tagab hea rajaplaneeringuga orienteerumise eripära, milleks on tundmatul maastikul leida ning läbida võimalikult kiiresti teekond ühest punktist teise. Olulisel kohal on eluslooduse ning keskkonna säästmine. Hea tava järgi planeeritakse rajad nii, et mõju loodusele oleks võimalikult minimaalne ning ei häiritaks ümberkaudseid elanikke (IOF 2017).

Rajameistri töövaliteet mõjutab ka sportlaste võistlustaktikaid. Rada planeerides on oluline etteantud maastikust võtta maksimum ning pakkuda võistlejatele mitmekülgselt rada. Üldtendentsina on etappidel alati mitmeid teevalikuid, pikemaid ringijooksu variante vähemkogenud sportlastele ning orienteerumise seisukohalt nõudlikumaid otse

liikumise variante. Mida rohkem teevalikuid suudab rajameister pakkuda, seda keerulisem on võistlejal lühikese aja jooksul optimaalset teevalikut leida.

### **2.3.1 Maastiku ja kaardi seostamine**

Orienteerumisvõime koosneb füüsilisest, vaimsest ja orienteerumistehnilisest poolest. Viimane koosneb kuuest põhilisest osast:

- kaardilugemisvõimest s.o oskus suhestada kaarti ja maastikku;
- kaardimälust s.o asukohta kaardilt kontrollimata, mälupildi abil maastikul liikumine;
- suunahoidmisvõimest s.o kompassi abil õige suuna hoidmine ja kontrollimine;
- etapi planeerimisest s.o teekonna valimine ja selle ellu viimise viis;
- teevalikust s.o teekonna valik, mida mööda liigutakse järgmisesse KP-sse;
- punktivõtmisest s.o viimase kindla pidepunkti e ründepunkti kasutamine.

Kaardilugemisvõimet mõjutavad kaarditunnetus, maastikutaju, kaardi ja maastiku seostamine, kaardilugemise sujuvus ja etapiplaan. Hea kaarditunnetus tähendab oskust kaardil kujutatud informatsiooni õigesti tõlgendada. Eelduseks on teadmine, kuidas kaarte erinevatel maastiketüüpidel joonistatakse. Maastikutajuna käsitletakse ümbritseva keskkonna mõistmist, et kasutada maastikuobjekte enda asukoha määramisel ja liikumisel. Kaarditunnetus ja maastikutaju tervikuna loovad oskuse kaarti ja maastikku seostada, mis on vajalik kaardist ja maastikust arusaamiseks ning kindlustunde saavutamiseks. Suunataju on vajalik objektide ruumis paiknemise mõistmiseks ning orienteerudes nendele toetumiseks. Kaardilugemise sujuvuse tagab kolme orienteerumisvõime komponendi edukas kombineerimine. Sujuvuse saavutamiseks tuleb osata jooksmise ajal eristada kaardilt vajalikku informatsiooni mitteolulisest (Glännefors *et al.* 2003).

### **2.3.2 Teekonnavalik**

Võistleja eesmärk on leida võimalikult lühikese aja jooksul optimaalseim teekond ning teostada see kiirelt ning efektiivselt. Optimaalne teekond ei pruugi siin kohal tähendada ainult lühimat, vaid ka ajalist faktorit arvestavat teevalikut (Almeida 1997). Tänapäeva trend teevaliku probleemi lahendamisel kaldub üha enam otsejooksmise kasuks. Otsejooksmist välditakse maastiku suure liigestatuse ja halva läbitavuse korral, mis

paneb orienteerujaid leidma alternatiivseid teevalikuid. Balstrøm (2013) leidis oma töös, et reljeefi mõju teevalikule on individuaalne ning see sõltub peamiselt inimese füüsilisest valmisolekust järskul tõusudel üles või alla liikumisest

Kahe punkti vahelist teevalikut mõjutab etapi pikkus, maastiku liigestatus, läbitavus mööda erinevaid teevalikuid ning tõkked (Arnet 2009). Etapiplaan sõltub strateegiast ning otsuse elluviimise viisist. Järgmise etapi läbimise strateegia ning plaan võetakse vastu kas enne KP läbimist või KP-s kohapeal seistes (Kübler 1985). Tänapäeva täpsed kaardid võimaldavad teevalikuid langetada mõne sekundi jooksul. Otsused sõltuvad kaardist, maastikust ja võistlusrajast (Almeida 1997). Olenevalt maastikust on võimalikke teevalikuid tavaliselt kaks või enam: otse, vasakult kaarega, paremalt kaarega või teed mööda ringi. Teevaliku langetamisel tuleb leida kompromiss kiireima, vähim jõudu kulutava ning turvaliseima teekonna vahel. Etapi lihtsustamiseks jagatakse see mitmeks osaks. Samaaegselt üldistatakse kaardipilti, et leida üles olulisemad orientiirid ja vältida informatsiooni üleküllust (Glännefors *et al.* 2003).

Etapi läbimisel on abiks joon- ja pidepunktid. Joon-orientiir ehk nn käsipuu aitab liikuda piki mingit joont maastikul, milleks on näiteks teed, kõlvikupiirid või reljeef. Pidepunktina kasutatakse kindlaid objekte (künkad, pisi-sood), millega kontrollitakse oma asukohta, saamata kasu suunahoidmisel. Etapi viimases osas valitakse nn ründepunkt, mille abil lähenetakse KP-le (Glännefors *et al.* 2003).

Orienteerumisspordis on raske otsustada, milline teevalik on optimaalne kõigi sportlaste jaoks. Iga võistleja läbib distantsi vaid ühe korra kasutades selleks ühte teekonda. Keeruline on öelda, kas võistleja oleks läbinud teekonna kiiremini kasutades mõnda alternatiivset teevalikut, kuna eri teevaliku teinud võistlejate füüsilised võimed võivad olla erinevad. Optimaalse teekonna leidmine orienteerumises taandub individuaalsele tasemele, kus võistleja peab probleemülesande lahendama iseseisvalt võttes arvesse enda füüsilisi ja vaimseid tugevusi ning nõrkusi samal ajal (Myrvold, 1996).

Marie Külvik (2014) leidis oma uurimustöös, et KP-de läbimisel sõltuvad teekonnavalikud võistlejate tasemest, eesmärkidest ning nendest tulenevalt rajaplaneerimisest. Le *et al.* (2017) teostasid oma rakenduslikus töös optimaalse teekonna leidmise orienteerumiskaardi ja kõrgusandmete põhjal. Uurimusalaiks valiti tasase pinnamoega ala, mistõttu reljeefi mõju lõpptulemuses ei kajastunud.

## 2.4 Maastiku läbitavus

Maastiku läbitavus sõltub pinnase iseloomust, makro- ja mikroreljeefist, tõketest, taimestikust ning maapinna niiskustasemest (Suvinen 2002). Orienteerumiskaardil märgitud läbitavus näitab kaardistaja silme läbi mingi ala hinnangulist läbimise kiirust. Erinevate nähtuste läbitavus kaardil on kajastatud värvidega, mis sätestatud rahvusvahelise kaardistamise nõuetega. Läbitavust on võimalik kombineerida ka teiste maastikul paiknevate objektidega. Näiteks kivine ala või soo tumerohelisega tähistatud metsas viitab oluliselt halvemale läbitavusele kui lihtsalt tumerohelises metsas (IOF kaardikomisjon 2017).

Joostavus jagatakse kogu maastiku puhul jooksu kiiruse alusel viide klassi. Ligikaudsete kiiruste leidmisel kasutatakse baaskiirusena hästi läbitavas metsas jooksmise kiirust (4:00 min/km) (tabel 1).

**Tabel 1.** Joostavuse ligikaudne määratlus erinevatel pinnastel (ISOM2017 järgi).

Joostavus	Kirjeldus	Näited	Kiirus min/km
>100%	Väga hästi läbitav	Muru, pinnatud teed, teerajad	<4:00
80–100%	Hästi läbitav	Hästi läbitav mets, heinane põllumaa	4:00–5:00
60–80%	Aeglaselt läbitav	Hõre alustaimestik, tihe taimkate	5:00–6:40
20–60%	Raskesti läbitav	Kõrge alustaimestik, keskmiselt tihe taimestik	6:40–20:00
<20%	Väga raskesti läbitav	Väga tihe taimestik	>20:00

Gasser (2018) uuris oma teadustöös orienteerujate kiiruslikke näitajaid 2016. aastal toimunud orienteerumise maailmameistrivõistluste näitel ning leidis, et kiiremate orienteerujate jooksu kiirus on ühtlasem kui aeglasematel võistlejatel ning sujuvam liikumine läbi maastiku tagab parema tulemuse. Lauenstein *et al.* (2013) leidis oma teadustöös, et jooksu võime testi põhjal on võimalik suunata orienteeruja võistlusstrateegiat ning paika panna individuaalsed teevalikute põhimõtted

Informatsioon maastiku läbitavuse kohta omab olulist osa mitmes eluvaldkonnas nagu näiteks sõjandus, päästeteenistus, metsandus ja mitmed spordialad. Üks peamistest ülesannetest militaarvaldkonnas on hinnata sõidukite liikumise võimalusi maastikul (Hofmann *et al.* 2013). Militaarkeeles kasutatakse terminit „*Cross-Country Mobility (CCM)*“ s.o maastiku mobiilsus, mida mõjutavateks faktoriteks on reljeef, taimkate,

sood, hüdroloogia, teedevõrk, kliima jms (Rybansky 2003). Kõik eelnevad tegurid on omavahel tihedalt seotud ning neid arvesse võttes arvutatakse maastiku aeglustus koefitsient (Hofmann *et al.* 2014).

Maastiku ökoloogia valdkonnas on läbitavuse mõistena kasutatud „*landscape permeability*“, mis hõlmab endas looduslike, pool-looduslike ning tehismaastike soodsat või ebasoodsat mõju liikumisel ühest paigast teise, moodustades ökoloogiliselt soodsa võrgustiku („*connectivity*“) (Singleton *et al.* 2002).

Läbitavuse modelleerimisel võetakse arvesse maakatte tüüpi, tiheasustusega piirkondi, erinevat klassi teid, raudteid, tõkkeid jms. Liikumiskoridoride ja võrgustiku leidmiseks kasutas Pinto *et al.* (2008) vähima kuluga teekonna („*least-cost path*“) ning mitme lühima teekonna („*multiple shortest path*“) meetodit, mille käigus omistati läbitavuse indeks igale rasterpinna pikslile. Läbitavuse mõju loomaliikide liikumisel on uurinud Theobald (2011), kes koostas kogu USA riigi piires maastiku läbitavuse põhjal loomadele sobilike loodusala võrgustiku kaardi. Taimestiku põhjal läbitavuse hindamise viis läbi Lechner *et al.* (2016), kus vaatlusaluseks piirkonnaks oli Tasmaania põhjaosa.

## 2.5 GPS orienteerumises

GPS-tehnoloogia rakendamisest orienteerumisspordis on teadusartiklites käsitletud Cych (2006) ja Norouzi (2013). Navigatsioonisüsteemide kasutamine orienteerumisspordis on suhteliselt uus praktika. Orienteerumise eripära arvesse võttes ei ole see spordiala kuigi pealtvaatajasõbralik, kuid tänu GPS jälgimisele on võimalik võistlejate liikumine virtuaalselt tuua pealtvaatajateni. Varasemalt kandsid orienteerujad oma läbitud teekonna käsitsi kaardile, mis ei võimalda sajabrotsendilist asukohatäpsust ning sõltub inimese mälust ja orienteerumistasemest.

Tänu GPS-teekonna salvestamisele on võimalik nii võistlejatel endil kui ka teistel orienteerumishuvilistel õppust võtta maailma parimate orienteerumistehnikast ja põhimõtetest. GPS-teekonnad, mis annavad informatsiooni asukoha, aja, teekonna pikkuse ja kiiruse kohta, loovad võimaluse võrrelda ja omavahel analüüsida erinevaid teekondi. Sõltuvalt GPS-seadme tüübist on võimalik kombineerida eelnevate andmetega ka kõrgusandmeid ja pulssi e südame löögisagedust. GPS-i kasutamine omab tähtsat

rolli ka orienteerumistreeningutel, saades tagasisidet tegeliku läbitud teepikkuse ning kiiruse kohta.

Enim kasutatavad teekonna analüüsitarkvarad on QuickRoute (<http://www.matstroeng.se/quickroute>), Routegadget (<http://www.routegadget.net/index.php?stay>) ning 2Drerun (<http://3drerun.worldof.com/>).

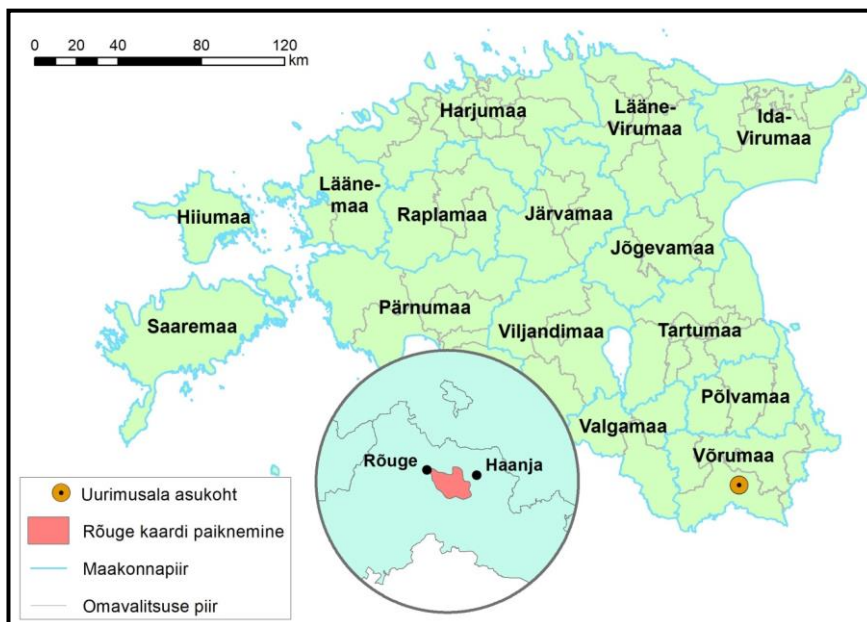
GPS-tehnoloogia peamiseks puuduseks on asukoha vead, mis tulenevad peamiselt GPS satelliitide signaali häiretest. Nende peamiseks põhjusteks on reljeef, taimestiku tihedus, pilved, ehitised või muud tehisoobjektid. Teiseks asukohatäpsust mõjutavaks teguriks on orienteerumiskaardi topograafiline täpsus. Rõuges kasutatud GPS-saatjate asukoha täpsus on <2,5 m. Topograafilise täpsuse mõju oleneb peamiselt kaardistustäpsusest s.o kui hästi suudab kaardistaja objektide omavahelisi paiknemisi orienteerumiskaardil kajastada.

### 3. Andmed ja metoodika

Töö esimeseks etapiks oli orienteerumise distsipliini valik, millest tulenes uurimusala. Tulemuste ja etapiaegade andmetöötlus ning graafikute loomine viidi läbi programmis Microsoft Office Excel 2007. Läbitavuse kaardi ettevalmistus viidi läbi programmi OCAD 10 ja ArcMap 10.3.1 abil. Optimaalse teekonna leidmise probleemülesanne viidi samuti läbi tarkvaraga ArcMap 10.3.1. GPS teekondade kuvamiseks orienteerumiskaardil kasutati 2DRerun ja Quickroute vabavara ning jooniste viimistlemisel Adobe Illustrator 10 tarkvara. Optimaalse teekonna arvutamise etapis kasutati ka kõrgusmudelit (DEM), mille sain Maa-ametilt uurimustöö eesmärgil. Selle abil leitud teekonnad erinesid läbitavuse põhjal leitud teekondadest minimaalselt, mistõttu käesolevas töös reljeefi mõju teekonnale ei arvestatud.

#### 3.1 Uurimusala

Uurimusala asub Võrumaal, Rõuge vallas ning jääb Haanja looduspargi idaosasse (joonis 3). Võistlusmaastik jääb Eesti kõrgeima tipu ning sügavaima järve vahele. Rõuge maastikule on iseloomulik liigestatud reljeef ja väga vaheldusrikas läbitavus. Uurimusala iseloomustab kaks selgesti eristuvat piirkonda (Bulletin 4, 2017). Esimese osa maastikust moodustab moreenküngastik, vaheldudes tasasemate aladega. Teise osa moodustab keeruka reljeefi süsteemiga Rõuge ürgorg koos väiksemate kõrvalorgudega.

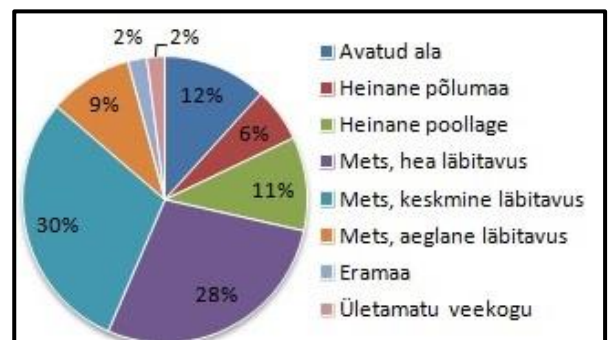


**Joonis 3.** Rõuge uurimusala asukoht (aluskaart: Maa-amet, autori koostatud).

Valdavaks metsatüübiks on okaspuumets, mis vaheldub lehtpuumetsaga. Oodatust viimasema suve tõttu oli märgalade veetase tavalisest kõrgem. Võistlusmaastikust valdav osa kuulub eraomanikele ning mõni üksik ala RMK-le (Metsaportaali veebikaart). Viimase 3 aasta jooksul lisandus maastikule enam kui 100 uut raiesmikku (Tõnis Erm, suulised andmed).

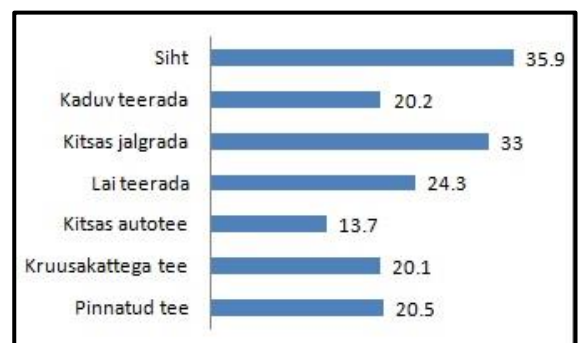
Võistlusmaastiku kaardistamine toimus ajavahemikul 2015-2017 (Rõuge orienteerumiskaardi andmed *s.a.*). Esmakaardistatud maastiku osa on 40%. Kaardistamisel on kasutatud LiDAR andmeid ja Eesti põhikaarti. Mõõtkava on 1:15 000 ning kõrgusjoonte lõikevahe 5 m. Orienteerumiskaart on L-EST 97 projektsioonis. Kaardistuse kogupindala on 24 km<sup>2</sup> (Markus Puusepp, suulised andmed). Kaardi autoriks on Madis Oras. Rõuge orienteerumiskaardi varaline omandiõigus kuulub Eesti Orienteerumislidule ja kaardi vektorformaadi kasutusõiguse sain ma Orienteerumislidult (lisa 1).

Suurima osa maastikust moodustab hea läbitavusega mets (30,9%), sellele järgneb keskmise läbitavusega mets (26,9%) (joonis 4). Lagedad ja poollagedad alad (sh raiesmikud) moodustavad kogu maastikust 28,5%.



**Joonis 4.** Kaardistatud ala pindobjektide kogupindalad protsentides.

Roheline püstviirutus, mis aeglustab jooksmist, kuid ei vähenda nähtavust, asendati lihtsuse huvides sümboliga nr 406 (keskmise läbitavusega mets), millel on sama kiirusnäitaja. Lagedate alade ja metsa pindalad sisaldavad endas lisaks soiseid alasid, mille kogupindala on 14,5%. Joonobjektide kajastamiseks kaardistatud maastikul on kasutatud seitset erinevat klassi, millest suurima osa moodustavad sihid (35,9 km) ja jalgrajad (33 km) (joonis 5).



**Joonis 5.** Kaardistatud ala joonobjektide kogupikkused kilomeetrites.



## **3.2 Sündmuse kirjeldus.**

Maailmameistrivõistluste tavaraja individuaalne distants leidis aset 4. juulil 2017. aastal. Võistluskeskus asus Rõuge Ööbikoru kõrval Rõuge linnamäel, start asus keskusest 6 km kaugusel. Võitlusraja planeeringu autor on Tõnis Erm. Võistlusele oli registreerinud 74 meest, kellest lõpetas 66. Rajale starditi 2-minutiliste vahedega eraldistardist. Meeste raja pikkuseks oli linnulennult 16,8 km, kontrollpunkte 25 ning tõusumeetreid optimaalset teekonda mööda 345 m. Eeldatav võitjaaeg oli 100 minutit. Meeste võistlusele eelnes ka naiste võistlus, kogu võistluspäeva stardid kestsid kokku neli tundi. Sportlased transporditi karantiini Rõuge koolimajja ning vahetult enne starti suunduti eelstarti. Punktide tiheda asetuse ning etappide ristumise tõttu toimus poolel rajal kaardivahetus, kus iga võistleja sai uue nummerdatud kaardi, seejuures raja lõpuosa etteplaneerimise võimalus võistluse esimeses faasis puudus. Viide erinevasse KP-sse oli paigutatud joogipunkt.

## **3.3 Andmed**

Uuringu valimisse kaasati võistluse 28 kiireimat lõpetajat. Valimi põhjal salvestati GPS teekonnad .gpx formaadis (GPS seuranta 2017). Orienteerumiskaardi originaalfail ning rajafail (mõlemad .ocd formaadis) saadi kasutamiseks Markus Puusepalt teadustöö eesmärgil. Etappide ajad ning koguajad kopeeriti Winsplit Online leheküljelt Excelisse. GPS teekonnad avati programmis Quickroute, seejärel lisati teekonnale automaatselt KP-de asukohad, mis saadakse Winsplit Online etapiaegade põhjal. Seejärel kopeeriti tegeliku teekonna pikkus etapiti Excelisse ning viidi läbi andmete korrastamine. Andmetöötluse käigus arvutati võistlejate keskmised linnulennulised ja tegelikud liikumiskiirused etappide lõikes, etapijoonest kõrvalekaldumise protsent jms.

## **3.4 Analüüsi metoodika**

### **3.4.1 Andmete eeltöötlus**

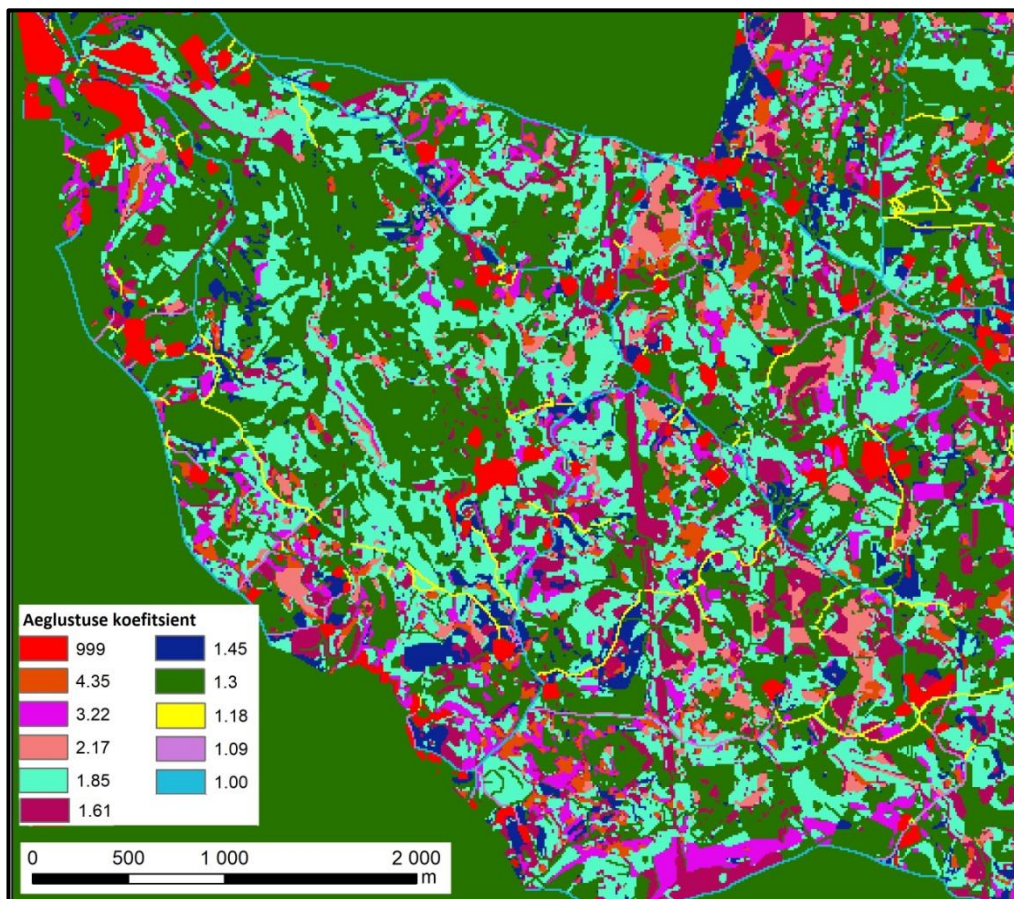
Kasutades kaardistamistarkvara OCAD 10 peideti orienteerumiskaardi originaalfailis kõik mittevajalikud sümbolid, mis liikumiskiirust ei mõjuta (nt kivid, üksikud puud, kõlvikupiirid). Seejärel salvestati pind- ja joonobjektid eraldi .shp failidena.

Järgmise sammuna korrastati tarkvara ArcMap 10.3.1 abil kõik kihid, järgides objektide loogilist asetust üksteise suhtes. Kõige alumisteks kihtideks on metsa eri läbitavused, seejärel lagedad, sood ja teed ning viimaste kihtidena ületamatud objektid. Mudeli täpsemaks muutmiseks lõigati metsa ja lagedate abil erineva läbitavusega sood. ISOM 2017 kaardistusreeglite põhjal omistati atribuuttabelis igale nähtusele joostavust iseloomustav aeglustuse koefitsient (tabel 2). Uurimusosalal esines lisaks neli nähtust, mille ületamine või läbimine on keelatud. Nendele omistati mõistlikult suur väärtus, mille korral neid alasid optimaalse teekonna arvutamisel välditakse.

**Tabel 2.** Läbitavusklasside kiiruse jaotus Tabel 1 andmete alusel. Min/km näitab antud nähtuse läbimise hinnangulist kiirust. Aeglustuse koefitsient näitab, kui mitu korda mingi nähtuse läbimine aeglasem on.

ISOM ID	Nähtus	%	Min/km	Aegl. koefitsient
<b>Pindobjektid</b>				
401	Avatud ala	100	4:00	1.30
403	Heinane avatud ala	90	4:30	1.45
404	Heinane poollage	80	5:00	1.61
405	Mets, hea läbitavus	100	4:00	1.30
406	Mets, keskmine läbitavus	70	5:50	1.85
408	Mets, aeglane läbitavus	40	10:00	3.22
410	Mets, raske läbitavus	20	20:00	6.66
310	Hea läbitavusega soo (mets)	80	5:00	1.61
310 (401)	Lage soo	80	5:00	1.61
310 (403)	Heinane lage soo	70	5:50	1.85
310 (404)	Poollage soo (raba)	70	5.50	1.85
310 (406)	Soo, keskmine läbitavus	60	6.40	2.17
310 (408)	Soo, aeglane läbitavus	30	14:00	4.35
<b>Joonobjektid</b>				
503	Pinnatud tee	130	3:00	1.00
504	Kruusakattega tee	130	3:00	1.00
505	Kitsas autotee	120	3:20	1.09
506	Lai teerada	110	3:40	1.18
507	Kitsas jalgrada	100	4:00	1.30
508	Kaduv teerada	100	4:00	1.30
509	Siht	100	4:00	1.30
<b>Keelualad</b>				
527	Eramaa	0	0	999
526	Hoone	0	0	999
301	Ületamatu veekogu	0	0	999
710	Keeluala	0	0	999

Korrastatud andmed viidi rasterkujule tööriistade *Polyline to Raster* ja *Polygon to Raster* abil. Rastri piksli suuruseks määrati 10x10m ning igale pikslile omistati kiiruse põhjal aeglustuse koefitsient. *Create Raster Dataset* tööriista kasutades tekitati tühi „NoData“ raster-andmestik, kuhu laaditi õiges järjekorras kõik rasterfailid. Andmekogu andmetüübiks määrati 32-bit ujukomaarv. *Raster Calculator* tööriista abil omistati NoData pinnale uus väärtus (1.3), millega tekitati hea läbitavusega metsa rasterkiht (joonis 6).



**Joonis 6.** Läbitavuse raster väärtuspind, kus koefitsient näitab, kui mitu korda on mingi ala aeglasemini läbitav. Koefitsient 1 vastab läbimiskiirusele 3 min/km. Nähtused on välja toodud tabelis nr 2.

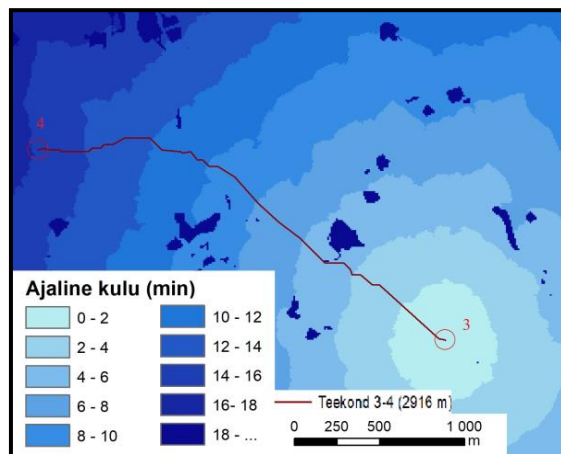
### 3.4.2 Optimaalse teekonna leidmine

Maailmameistrivõistluste tavarada koosnes 25. etapist, millest 8 olid pikemad kui 600 meetrit ning pakkusid võistlejatele rohkem teevalikuid kui lühikesed etapid. Meeste võistlusrajalt välja valitud 8 pikemat teevalikute etappi olid järgmised: 1-2, 3-4, 7-8, 11-12, 13-14, 15-16, 19-20, 21-22. Lisaks kaasati kaks lühemat etappi (5-6, 14-15) tasasel

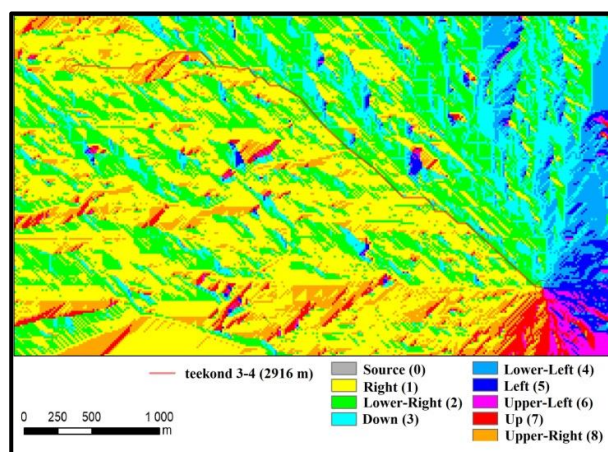
pinnal, kus reljeefi mõju on minimaalne. Optimaalse teekonna leidmisel võeti arvesse ainult maastiku läbitavust.

Esmalt eksporditi KP-de asukohad .shp formaati. Teekonna leidmiseks kasutati programmis ArcMap 10.3.1 töövahendeid *Cost Distance* ja *Cost Path*. *Cost Distance* tööriista abil leiti ajalise kauguse raster ning liikumissuuna raster. Sisenditeks olid teekonna alguspunkt ning läbitavuse väärtuspind. Ajalise kauguse rasterpind näitab ära iga piksli maksumuslikkuse, mida mööda jõuaks vähima ajakuluga mingist pikslist alguspunkti. Liikumissuuna rastril määratakse vastupidises suunas alguspunkti poole igalt pikslilt suund parima väärtusega naaberpikslile, mida mööda on ajaline kulu mingist pikslist alguspunkti jõudmiseks vähim.

Ajalise maksumuse rastri puhul on alates alguspunktist igale pikslile omistatud ajaline väärtus, mis kulub selle vahemaa läbimiseks (joonis 7). Väljaulatuvad sopid viitavad teede olemasolule, mida kasutades jõuab sama ajaga kaugemale, kui näiteks metsas joostes. Rõuge maastiku läbitavus on väga vahelduv ning selle kaardistustäpsus detailne, mistõttu parema läbitavusega metsaalad nii hästi esile ei tule. Tumesinised laigud näitavad läbimatute objektide paiknemist. Liikumissuuna rastri abil määratakse suund igalt pikslilt naaberpikslile, mida mööda on teekond alguspunkti ajaliselt lühim, võttes arvesse läbitavuse väärtusi (joonis 8). Kõikidest läbimatutest objektidest suunatakse vasakult või paremalt ringi.



**Joonis 7.** Ajalise maksumuse rasterkaart koos leitud teekonnaga.



**Joonis 8.** Liikumissuuna raster koos leitud teekonnaga.

### **3.4.3 Optimaalse teekonna läbimine**

Läbitavuse andmete põhjal leitud esimese rajaosa teekonnad läbiti katse käigus. Katse viidi läbi 05.mail 2018. Katse käigus läbiti meeste võistlusrajast KP-d 1–8, mille linnulennuline pikkus oli 8,15 kilomeetrit ning reaalselt läbitud teepikkus 9,18 kilomeetrit. Treeningtempo juures kulus teekonna läbimiseks 1 tund ja 7 minutit. Kaardile kanti läbitavuse põhjal leitud ajaliselt optimaalseimad teekonnad ning maastikul liikudes oli ülesandeks antud trajektoori mööda liikuda. Katse käigus üritati välja selgitada, kas antud trajektoore mööda KP-de läbimine on konstantse jooksukiiruse juures teostatav ja mõistlik.

### **3.5 Andmete analüüs**

Joostavuse hindamiseks koostati programmis ArcMap maastiku läbitavuse raster, mille põhjal arvutati optimaalsed s.o vähima ajalise maksumusega teekonnad. Leitud teekondi võrreldi visuaalsel vaatlusel tegelike GPS teekondadega. Visuaalselt hinnati ka seda, kas ja kui palju oleks olnud etapil kõige kiirema võistleja teekond ajaliselt veel kiirem, kui oleks kasutatud leitud optimaalseid teekondi.

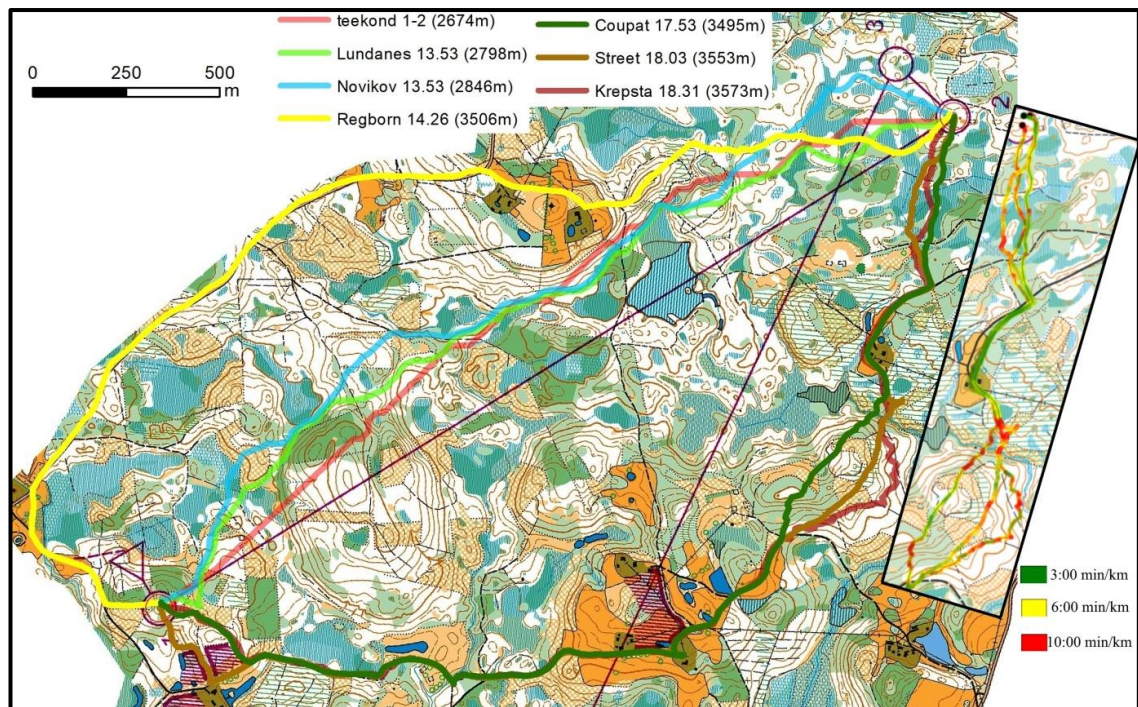
Teekondade analüüsimiseks kasutati 2DRerun vabavara, mille abil hinnati visuaalselt erinevaid teevaliku variante, liikumiskiirusi erinevatel maastiku osadel. Lisaks visuaalsele vaatlusele kasutati analüüsi käigus programmi MS Excel abil etapiaegu ja teekondade pikkusi. Valimisse kuulunud võistlejate üldine paremusjärjestus ning tegelikud teepikkused etappide lõikes on välja toodud lisas 2. Tegeliku teekonna põhjal leiti kogu raja läbimiskoeffitsient ning etappide lõikes võistleja teekonna erinevus linnulennulisest pikkusest protsentides. Pikematel etappidel leiti GPS andmete põhjal iga võistleja poolt kasutatud teeradade pikkus meetrites.



## 4. Tulemused ja arutelu

### 4.1 Optimaalne teekond läbitavuse põhjal

Rada algas lühikese etapiga, millele järgnes kohe pikk etapp. Taoline probleemipüstitus pani võistlejad keerulisesse situatsiooni, kus tuli lühikese aja jooksul leida võistleja meelest sobiv teevalik nii esimesse kui teise KP-sse. Esimese pikema etapi (2048 m) puhul on selgelt kiireim teevalik otse, etapijoonest kergelt vasakult poolt (joonis 9). Läbitavuse põhjal arvutatud teekond on kiireimast teekonnast 4,5–6% lühem. Vahe tuleneb reljeefi mitteamvestamise tõttu, mille tulemusena ületab arvutatud teekond etapi alguses 30 meetri kõrgust mäge, mida võistlussituatsioonis tegelikult välditi. Ülejäänud etapi ulatuses järgib leitud teekond kiireimat trajektoori. Lisaks kasutati kahte pikemat ringijooksu varianti, vasakult ning paremalt. Mõlemad valikud on teepikkuselt sarnased, kuid parempoolse etapi muudab aeglasemaks etapi lõpuosa, kus läbitavus seab jooksukiirusele suurema piirangu.

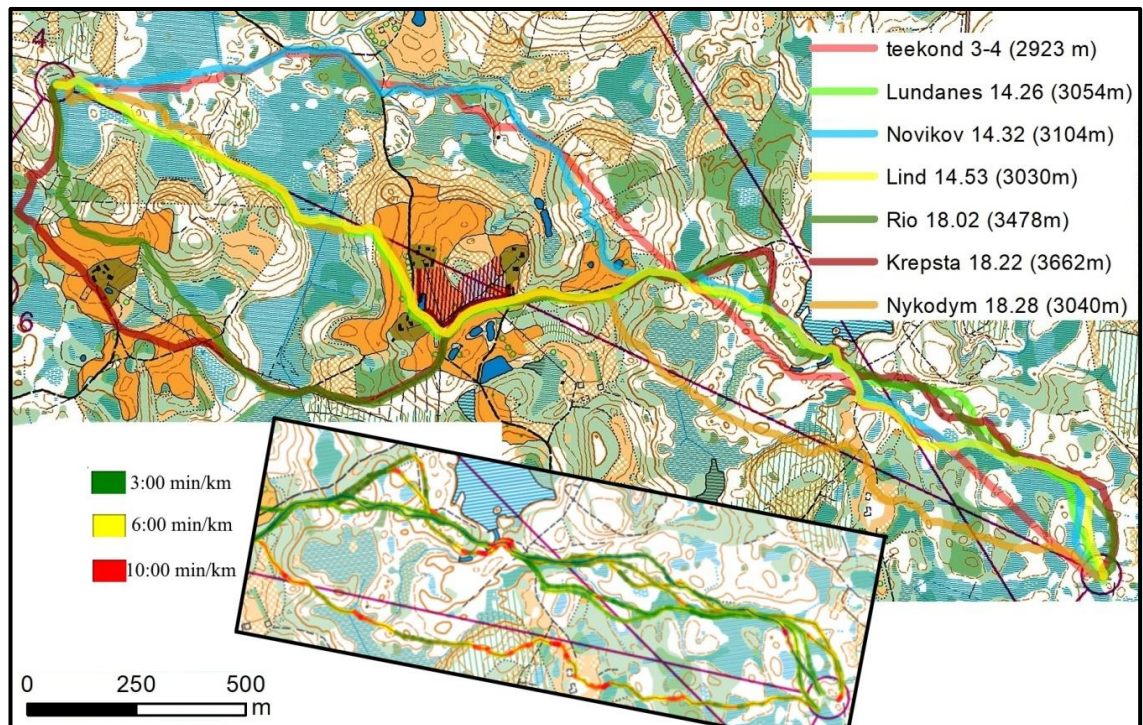


**Joonis 9.** Etapi 1-2 kolme kiirema ja aeglasema võistleja teekonna võrdlus leitud teekonnaga. Kollase, sinise ja helerohele joonega näidatud 3 kiirema võistleja teekonnad, tumerohele, tumepunase ja pruuniga näidatud 3 aeglasema võistleja teekonnad. Helepunasega on näidatud arvutuslikult leitud optimaalne teekond. Legendis lisatud teekonna pikkus ja etapiaeg.

Vasakpoolset valikut mööda liikudes sai teeradu kasutada 66% ulatuses, parempoolsel 50–60% ning otsejoones keskmiselt 24%. Teid mööda liikumine lihtsustab oluliselt joostavust, kuid mida kaugemale etapijoonest tee viib, seda rohkem kulub aega etapi

läbimisele. Otse liikunud Novikovi ja Lundanesi keskmised liikumiskiirused antud etapil on vastavalt 4:54 ja 4:59 min/km, mis viitab metsa heale läbitavusele ning õigustab teevalikut.

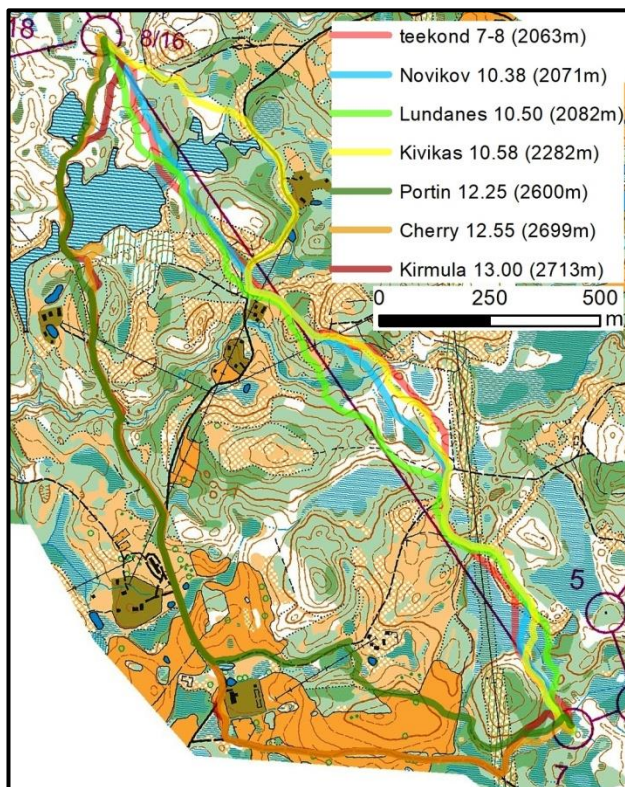
Etapp 3-4 (2639m) jaguneb laias laastus kaheks osaks. Esimene osa kulgeb valdavalt ilma teedeta tasases metsas ning teises osas lihtsustavad liikumist teerajad ning avatud alad, pakkudes samal ajal alternatiivseid liikumistrajekteore (joonis 10). Läbitavuse põhjal leitud teekond on selle etapi puhul sarnase teekonna läbinud Novikovi omast 6% lühem. Etapi alguses on välditud soid, mis raskendasid kõrge veetaseme tõttu liikumist. Nykodym, kes on võrreldes teistega liikunud otsemini, on kaotanud sellega aega, kuna tema liikumisteel oli halvem läbitavus. Novikovi ja Lundanesi võrdluses on etapi teine pool lahendatud erinevalt, kuid suuri erinevusi ajaliselt ja teepikkuse osas ei esine (liikumiskiirused vastavalt 4:43 ja 4:45 min/km). Teeradu kasutavad kolm kiiremat 16–18% ulatuses ning kolm aeglasemat 49–50%. Lõpuosas KP-le vasakult poolt lähenenud võistlejad olid selgelt aeglasemad, kuna moodustub S-kujuline teekond, mis pikendab automaatselt teekonna pikkust. Samas on sellest suunast KP-le lähenemine orienteerumistehniliselt lihtsam.



**Joonis 10.** Etapi 3-4 kolme kiirema ja aeglasema võistleja teekonna võrdlus leitud teekonnaga.



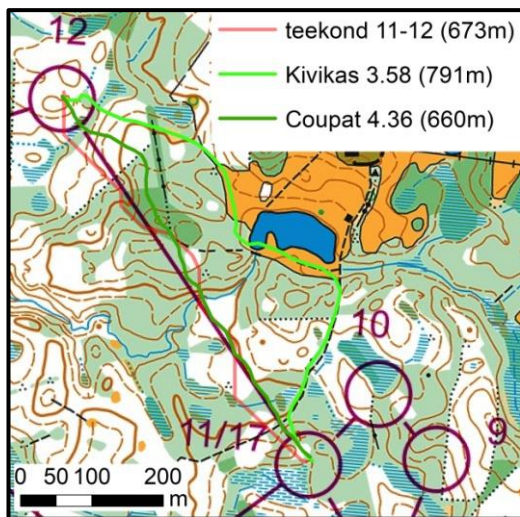
Etapil 7-8 erines leitud optimaalne teekond kiireimast teepikkuselt 0,4% (joonis 11). Suuri erinevusi nende teekondade võrdluses ei tuvastatud. Mõned väiksemad mikroteevaliku erinevused esinevad parema läbitavusega lõikudel, kuid see ei oma ajalises mõttes suurt rolli. Oluliselt kehvem teevalik ei olnud ka lõpuosa lahendamine paremalt teed mööda joostes (joonis 11, Kivikas). Aeglasemaks osutus vasakpoolne teejooksu variant, mis on 35% etapijoonest pikem. Otse liikunud Novikovi teekond on 8,7% pikem.



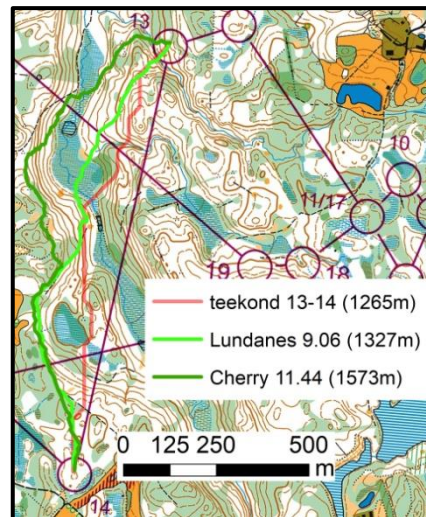
**Joonis 11.** Etapi 7-8 kolme kiirema ja aeglasema võistleja teekonna võrdlus leitud teekonnaga.

Raja teisel osal asuvatel pikematel etappidel (11-12, 13-14, 15-16, 19-20) erinesid arvutuslikult leitud optimaalsed teekonnad etapi kõige kiirema võistleja teekonnast suuremal määral (joonised 12, 13, 15, 16). Teekonna pikkuse erinevus kõige kiirema võistleja teekonnast oli suurim etapil 11-12 kus arvutuslik teekond oli 17,5% lühem. Teistel juhtudel on erinevused väiksemad (-4,9–1,7%). Erandina kattusid teekonnad etappidel 14-15 ja 21-22 (joonised 14 & 17). Etapil 15-16 on määrav selle lühike pikkus, tasasus ja hea läbitavus. Etapil 21-22 kattuvad arvutatud teekond ja võistleja teekond suures ulatuses, vältides keelatud objekte (õuealad, järved).

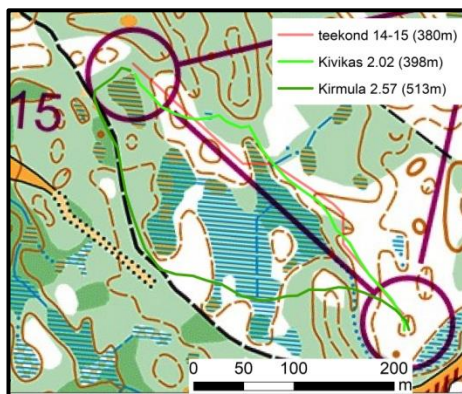




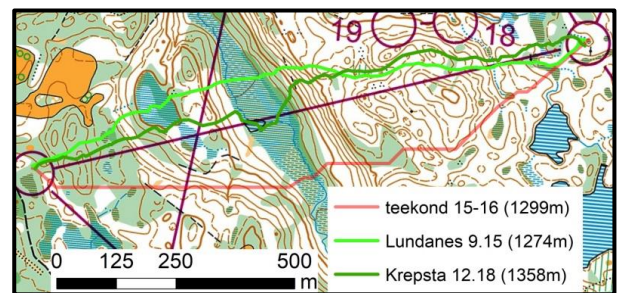
**Joonis 12.** Etapi 11-12 kõige kiirema ja aeglasema võistleja teekonna võrdlus leitud teekonnaga.



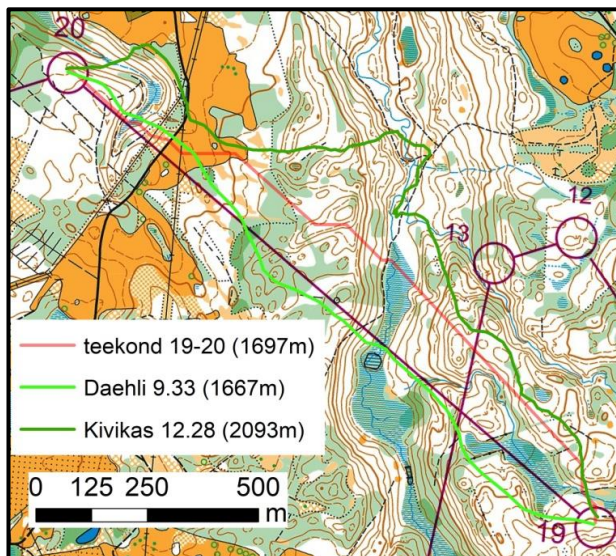
**Joonis 13.** Etapi 13-14 kõige kiirema ja aeglasema võistleja teekonna võrdlus leitud teekonnaga.



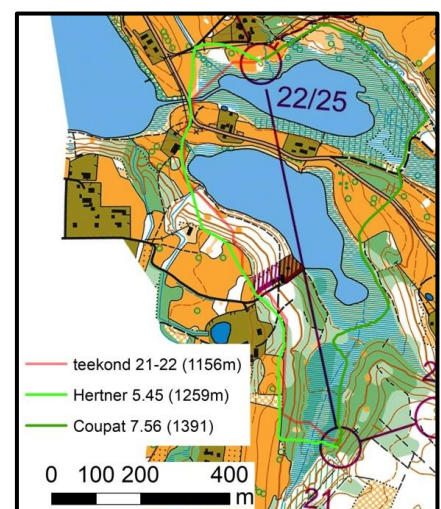
**Joonis 14.** Etapi 14-15 kõige kiirema ja aeglasema võistleja teekonna võrdlus leitud teekonnaga.



**Joonis 15.** Etapi 15-16 kõige kiirema ja aeglasema võistleja teekonna võrdlus leitud teekonnaga.



**Joonis 16.** Etapi 19-20 kõige kiirema ja aeglasema võistleja teekonna võrdlus leitud teekonnaga.



**Joonis 17.** Etapi 21-22 kõige kiirema ja aeglasema võistleja teekonna võrdlus leitud teekonnaga.

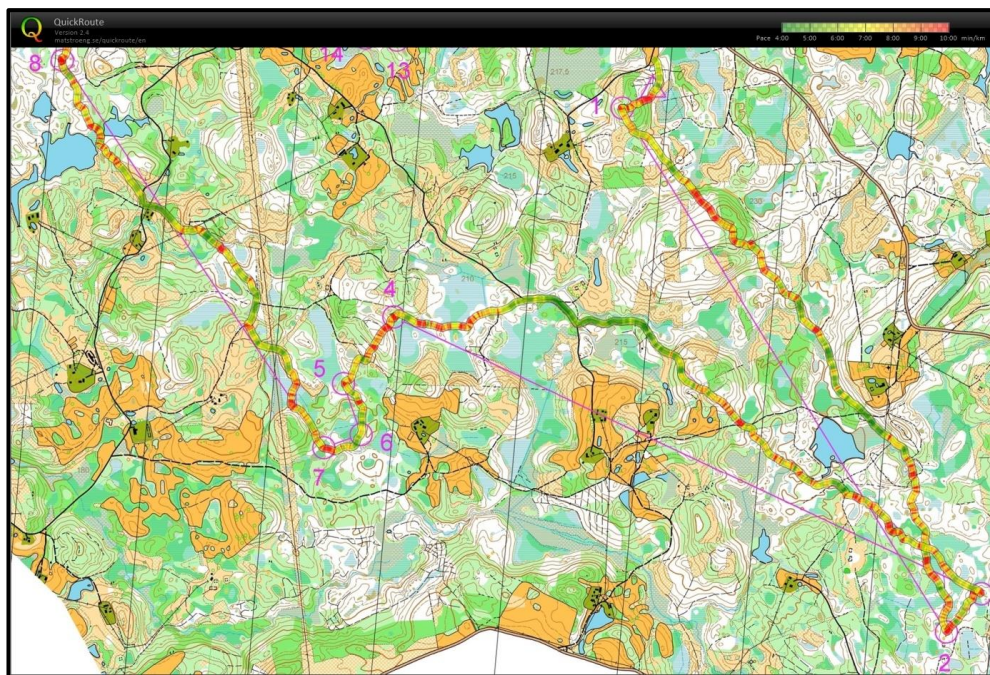
## 4.2 Teevalikute välikontroll

Katse käigus läbiti esimesed 8 KP-d, kus järgiti läbitavuse põhjal arvutuslikult leitud trajektoore (joonis 18). Aastaajast tulenevalt oli maastiku läbitavus ning nähtavus mõnevõrra parem kui oli seda eelmise aasta suvel. Paralleele saab tõmmata soode veetasemele, mis oli sarnane eelmisele suvele. Sellegi poolest oli võimalik hinnata mitmeid läbitavust mõjutavaid tegureid.

Läbitud trajektoori põhjal leiti, et tuulemurdu, mis võiks jooksmist takistada, esines minimaalselt. Metsaalune oli võrdlemisi puhas, mis soodustas kiiret ja konstantset jooksmist. Pigem takistas jooksmist mitmes kohas rinnuni olev tihe vaarikavõsa, mis suvisel ajal võib osutada suuremat vastupanu. Enamasti oli see nähtus metsa-aladel kaardistamata (roheline püstviirutus). Aastaajale kohaselt olid sood märjad, kuid vaatamata sellele oli valdav osa nendest väga hästi läbitavad. Enamasti puudus soodes jooksmist takistav võsa, seevastu olid need aga pehmed, vajudes kohati kuni põlvini. Lagedatel aladel ja raiesmikel oli läbitavus väga hea, kuna heinakasv oli väga madal. Maastikul liikudes oli veel praegugi näha võistlejate liikumise tõttu tekkinud lohasid nii metsa all, kui soodes. Võistlussituatsioonis võis see hilisemate startijate liikumist maastikul lihtsustada.

Katse põhjal selgus, et arvutuslikult leitud optimaalset teekonda järgides oli võimalik etappe läbida konstantsel jooksukiirusel. Katse käigus ilmnes vaid üks kaheldava väärtusega lõik etapi 1-2 algusosas, kus suure mäe ületamine ei tundunud mõistlik, kuna sellest sai sujuvalt ringi joosta.

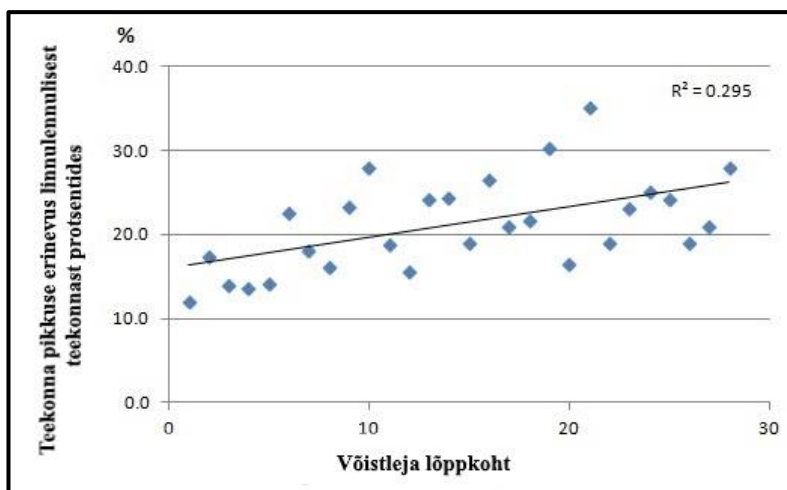




**Joonis 18.** Katse käigus läbitud raja GPS-teekond (roheline 4 min/km, punane 10 min/km).

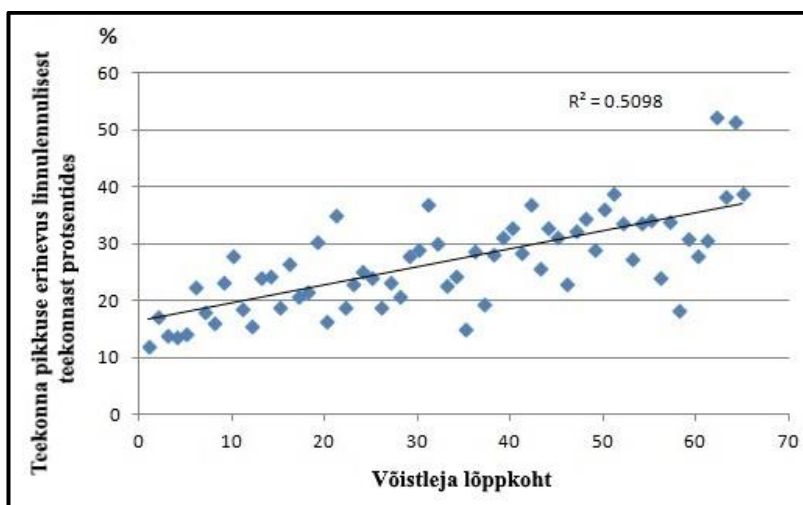
## 4.2 Trajektooride hajuvus

Mida lähemal etapijoonele liigutakse, seda vähem kaotatakse teepikkuses, kuid oht on oluliselt kaotada jooksukiiruses. Oluline on mõista, et mida lähemal on teevalik linnulennulisele trassi pikkusele, seda optimaalsem on läbitud teekond. Keelualade puhul on linnulennuline teepikkus ümber nende. Võistluse parima teekond oli linnulennulisest teekonnast 11,8% (2,08km) pikem (joonis 19). See osutab selgelt strateegiale, kus on kasutatud otse jooksmise variante ning välditud pikki ringijooksu võimalusi. Juba 28. parima orienteeruja seas on näha, et mida kehvem lõppresultaat, seda rohkem on teekonna pikkuses läbitud. See tähendab, et tagumised võistlejad on rohkem kasutanud ringijooksu variante, millega on parimatele kaotatud nii ajas kui teepikkuses. Mõnel üksikul juhul on tagumised läbinud võrreldes esimestega sarnase distantsi, kuid siin mängivad rolli jooksuvõime ning orienteerumistehniline pool. Seda kinnitab ka lineaarne mudel, mille kirjeldusvõime on 0.295, mille alusel võime lihtsustatult öelda, et etapijoone järgimisega saab orienteerumisvigade puudumise korral selgitada umbes 1/3 lõppkohta määravatest põhjustest.



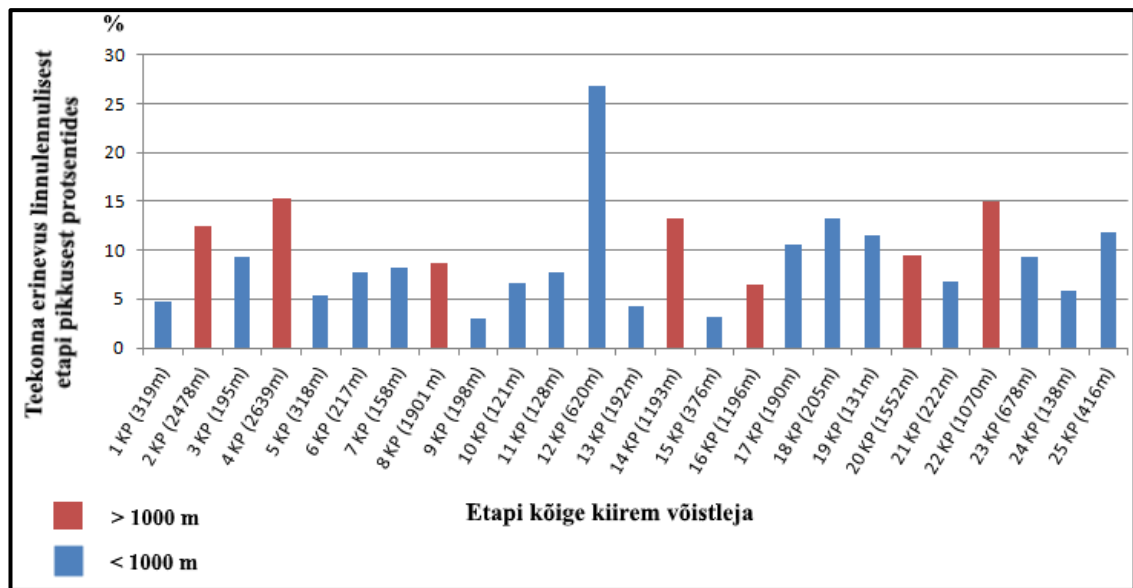
**Joonis 19.** 28. parima võistleja tegeliku teekonna pikkuse erinevus linnulennulisest teekonnast protsentides ja lineaarne trendijoon.

Lisades kõikide võistlejate resultaadid, saame veel suurema, 50% kirjeldusvõimega mudeli, mis ilmestab, et mida lühem on läbitud teekond, seda parem on ka lõppkoht (joonis 20).

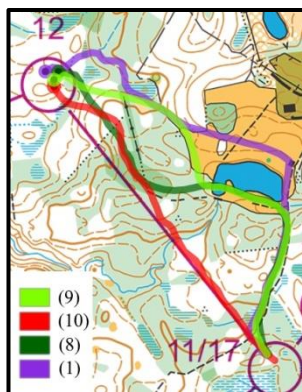


**Joonis 20.** Kõigi võistlejate tegeliku teekonna pikkuse erinevus linnulennulisest teekonnast protsentides ja lineaarne trendijoon.

Kõikidel etappidel peale ühe oli kõige kiirema võistleja teekond alla 20% linnulennulisest teepikkusest (joonis 21). Ainukese erandina oli pikem etapp 11-12 (620 m), kus ringijooks õigustas ennast parema joostavuse tõttu. Paremtal ringijooksu puhul (heleroheline joon) oli teekonna pikkus 26,8% pikem ning see oli otse jooksnutest 17 sekundit kiirem (joonis 22). Otse jooksmist raskendas väga halb läbitavus ning künklik reljeef.



**Joonis 21.** Etapi kõige kiirema võistleja teekonna pikkuse erinevus linnulennulisest protsentides, x-teljel iga etapi kõige kiirem võistleja, sulgudes etapi linnulennuline pikkus, y-teljel võistleja teekonna pikkuse erinevus linnulennulisest protsentides. Punasega on näidatud etapid, mis on pikemad kui 1 km.

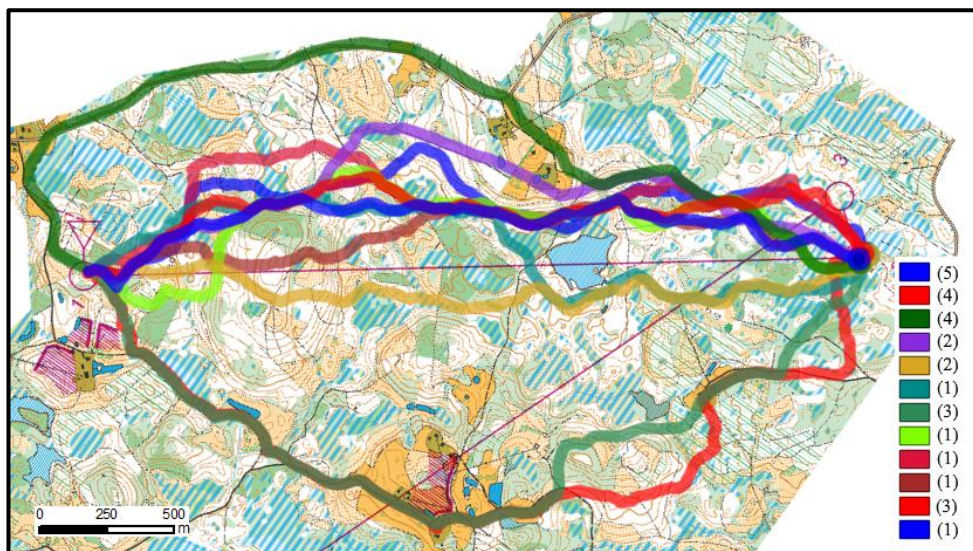


**Joonis 22.** Teevaliku variandid etapil 11-12, sulgudes võistlejate arv teevaliku kohta.

Etapil 1-2 kasutati enim etapijoonest kergelt vasakule jäävat teekonda (5 võistlejat) ning parempoolset ringijooksu (6 võistlejat) (joonis 23). Teekondade hajuvus on suurem etapi esimeses pooles, kus tuli joosta enamasti ilma teedeta maastikul. Hajuvus on selgelt väiksem teelõikudel, kuhu võistlejate teevalikud koonduvad kokku, mis lihtsustavad orienteerumist ning aitavad säästa energiat. Etapi teises pooles punktide lähenedes koonduvad võistlejate trajektoorid kokku. Olulisel kohal olid mikroteealikud, täpne kaardilugemine ning suuna hoidmine reljeefivaesel maastikul. Põhilised pidepunktid enne KP-d olid sood ja soosaared. Parempoolisel teealiku

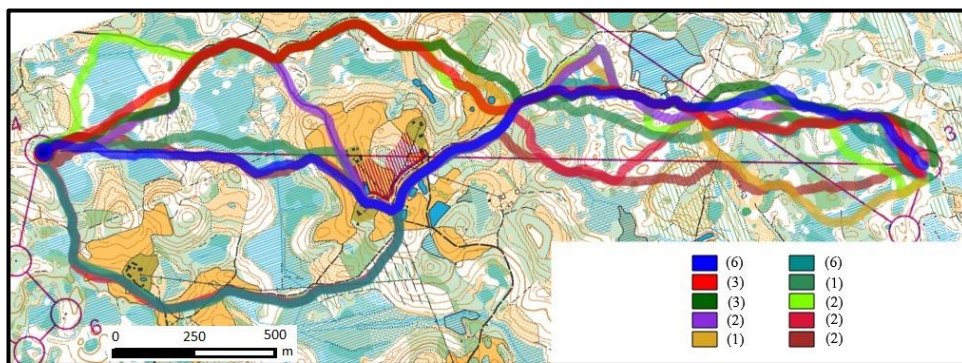


variandil osutus aeglasemaks etapi teine pool, kus teeradasid märksa vähem ning läbitavus kehvem.



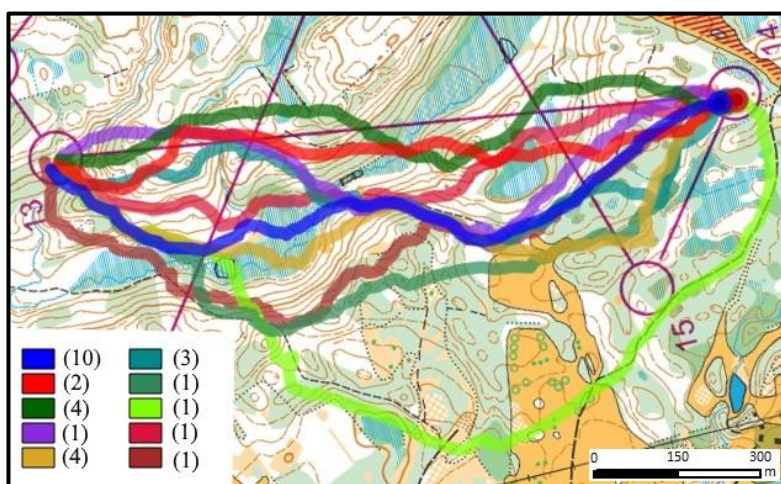
**Joonis 23.** Teevalikute hajuvus etapil 1-2, sulgudes võistlejate arv teevaliku kohta.

Etapi 3-4 alguse osas said enamus võistlejaid liikuda maastiku osal, millest nad eelnevalt risti läbi olid liikunud (joonis 24). See tekitab enesekindlust ning lihtsustab mõningal määral orienteerumist. Hajuvus on väiksem esimeses pooles, punktist väljudes on kasutatud etapijoonega paralleelselt asetseva soo serva, mis annab kätte õige suuna. Samuti on sellega välditud halvema joostavusega ala, mis jääb etapijoone alla. Hajuvus on suurem etapi teises pooles, kus teeradu ning valikuvõimalusi on rohkem. Kokku on kasutatud lõpuosas viide erinevat teevalikut. Enim liiguti KP poole otsejoones (9 võistlejat), kus tuli läbida rohkem soid ning liikuda valdavalt hea läbitavusega metsas. Orienteerumist ning suunahoidmist lihtsustavad raiesmikud. Vasakpoolne variant kasutab kõige pikemalt teeradu, mis viivad sisuliselt KP-ni välja, kuid teepikkuselt on see kõige pikem (8 võistlejat).



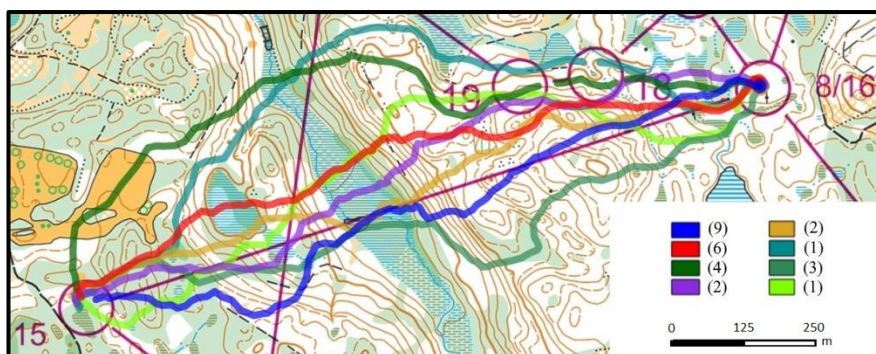
**Joonis 24.** Teevalikute hajuvus etapil 3-4, sulgudes võistlejate arv teevaliku kohta.

13. etapiks on võistlejad läbinud 10-12 km ning rada on jõudnud uuele maastiku osale, kus valdavateks reljeefivormideks on järsud orunõlvad. Liikumisteedekondadelt on näha, et kokku on kasutatud 10 erinevat trajektoori ning kõik need jäävad etapijoonest paremale poole (joonis 25). Valdav osa laskub kohe KP-st väljudes nõlvast alla soo juurde, et vältida piki nõlva jooksmist. Kuna selle etapi ulatuses on teeradu piiratud hulgal, tuleb liikuda maastikul. See on ka üheks suure hajususe põhjuseks, kuna maastikul ei leidu ühtegi eristatavat koridori, mida mööda kõik võistlejad saaksid liikuda.



**Joonis 25.** Teevalikute hajuvus etapil 13-14, sulgudes võistlejate arv teevaliku kohta.

Etapil 15-16 on valdavaks liikumissuunaks otse ning väga palju erinevaid teevalikuid ei paku (joonis 26). Teekondi hajutab pigem reljeef, kui üritatakse leida järsust orunõlvast üles jooksmiseks paremat jooksukoridori.

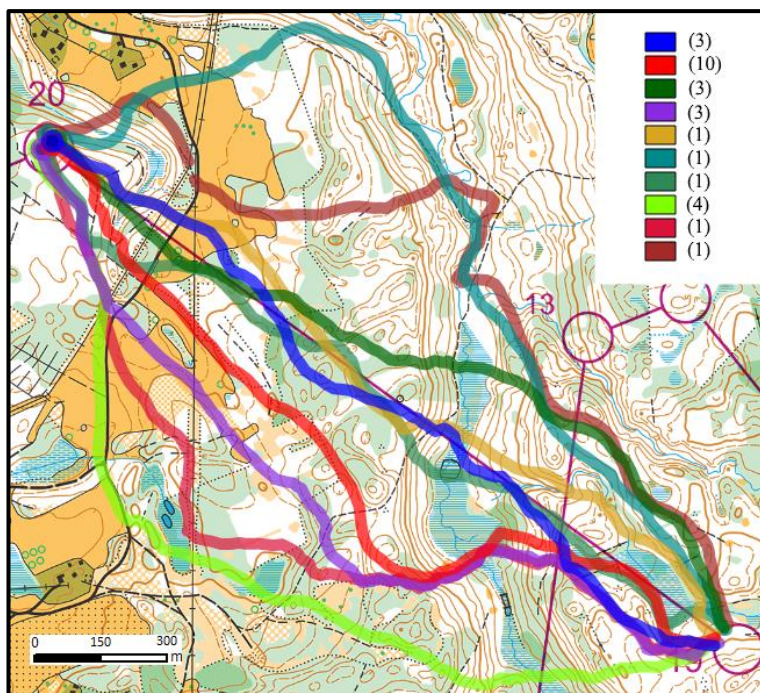


**Joonis 26.** Teevalikute hajuvus etapil 15-16, sulgudes võistlejate arv teevaliku kohta.

Teekonnad etapil 19-20 on hajunud kogu selle ulatuses. Põhilisi teevalikuid on neli: vasakult ringi (4), kasutades enim teeradasid, etapijoonest kergelt vasakult poolt ilma



teeradadeta metsas (10), paremalt poolt suure ringiga ning otse etapijoone lähedalt (joonis 27). Kiireimaks osutus viimane variant, kus teekonna pikkus on hoitud võimalikult lühike. Etapi keskel on halvema läbitavusega piirkond, mida vasakult poolt liikunud võistlejad on üritanud vältida, kuid mis reaalsuses ei osutunud kõige halvemaks. Parempoolseid teevalikuid on kasutatud vähem, kuna seal on reljeef liigestatum.



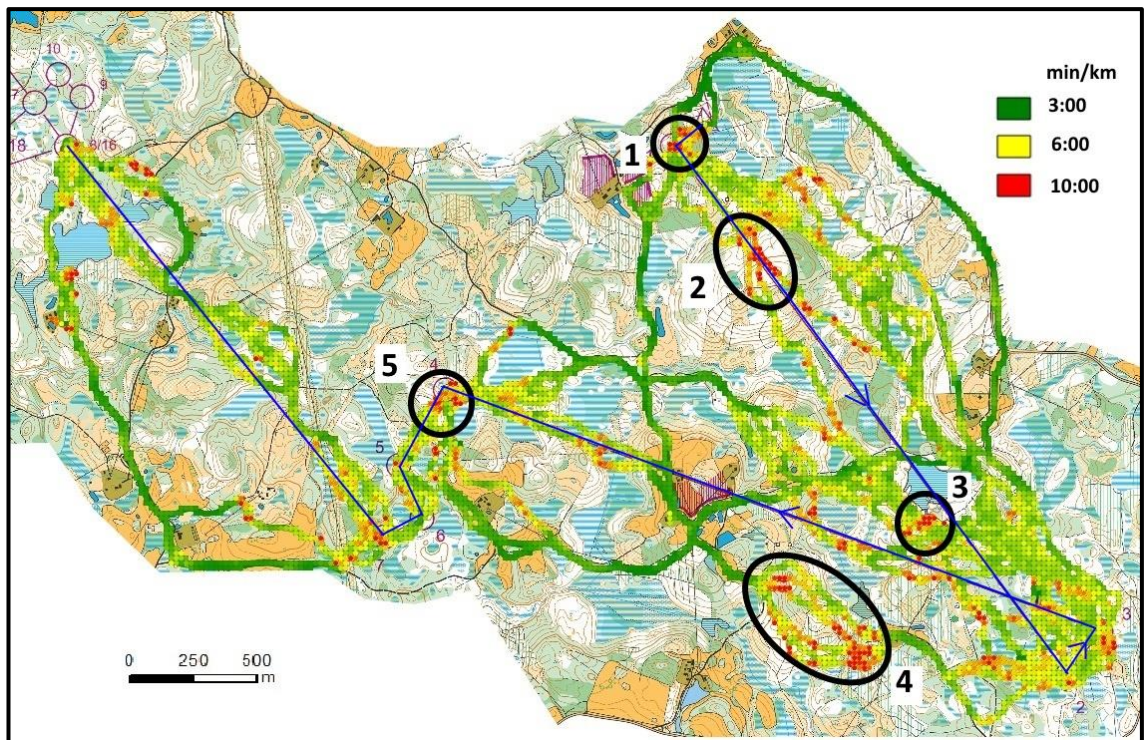
**Joonis 27.** Teekondade hajuvus etapil 19-20, sulgudes võistlejate arv teevaliku kohta.

### 4.3 Läbitavuse hindamine

Rõuge maastikku iseloomustab väga vahelduv läbitavus ning suured soostunud alad, mis on samuti erineva läbitavusega. Raja esimese poole väiksema liigestusega reljeef omab joostavusele vähem mõju kui viimane osa. Lisaks tuvastati, et soode äärealad aeglustasid võistlejate liikumiskiirust. See võib tuleneda nii kõrge veeseisust kui ka tihedamast taimestikust. Liikumiskiiruse graafikult on näha, et maastikul liikumine on enamasti aeglasem kui teedel liikumine (joonis 28). Esimese KP läheduses paiknev aeglasem osa viitab võistlejate taktikale, kus vahetult pärast KP läbimist võeti seistes vastu otsus järgmise pikema etapi läbimise osas (joonisel ala nr 1). Halvale läbitavusele viitab ka etapi 1-2 parempoolse variandi teine pool (ala nr 4). Raja esimeses osas tuvastati reljeefi mõju peamiselt etappidel 1-2 ning 4-5. Esimesel juhul tulenes mõju teevaliku tõttu, kui etapi alguses ületasid 3 võistlejat 35 m kõrguse künka, kus



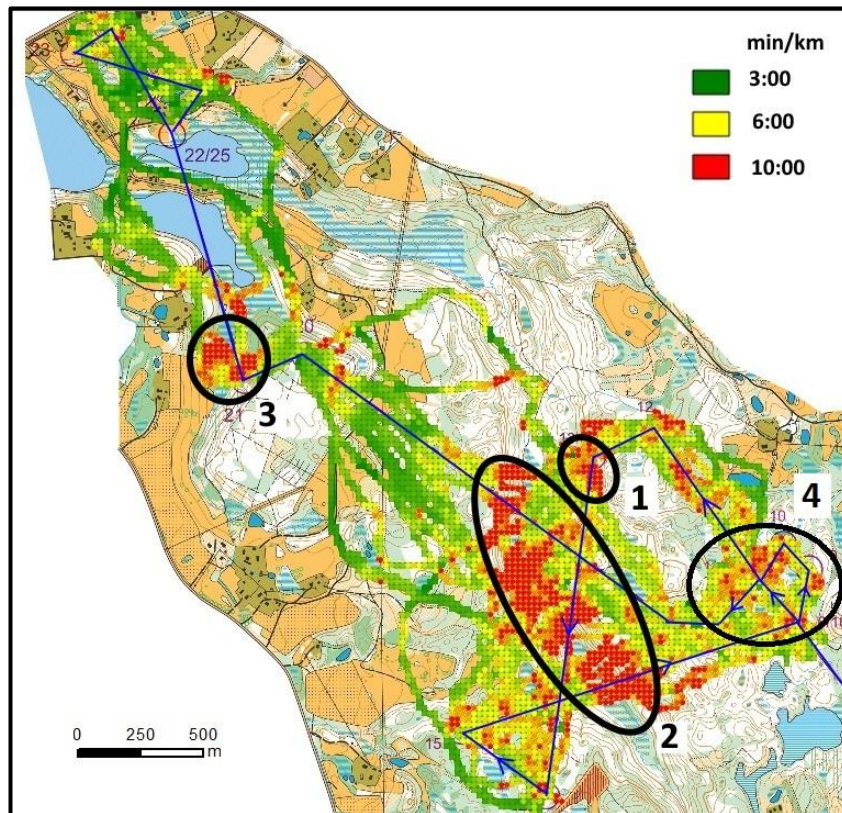
liikumiskiirus aeglustus ootamatult palju (ala nr 2). 200 meetrise heas läbitavuses ülesmäge lõigu läbimiseks kulus võistlejatel ligikaudu 2 minutit, mis viitab läbitavuse valesti kaardistamisele. Teisel juhul, kui läbiti lühem etapp (4-5) oli reljeefi mõju vältimatu (ala nr 5). Sel juhul tulenes liikumiskiiruse langus lühikese tõusu järsust nurgast. Lisaks aeglustas ühel juhul liikumiskiirust pikema kopratammi ületamine (ala nr 3).



**Joonis 28.** GPS teekondade kiirusegraafik esimesel rajaosal, kus roheline värv tähistab suurt kiirust, kollane keskmist ning punane aeglast. Sinise joonega tähistatud etapijooned, musta ringiga näidatud aeglasemad kohad.

Raja teine pool oli reljeefi poolest tugevalt liigestatud ning esines oluliselt vähem teeradu, mis seadsid piirangu liikumiskiirusele nii füüsilisest kui orienteerumistehnilisest poolest, nõudes täpsemat kaardi lugemist. Sellel rajaosal omab tähtsust ka juba läbitud distants nii ajaliselt kui pikkuselt. Esimene võistlusraja pool läbiti keskmiselt 50 minutiga (8,2 km) ning teine pool keskmiselt 64 minutiga (8,8 km). Üheltpoolt viitab see raja lõpu osas füüsilisele väsimusele, kuid teisalt näitab see maastiku ning võistlusraja muutust. Kogu raja vaieldamatult aeglaseimaks osaks kujunes järskude nõlvadega ning soise põhjaga Rõuge ürgorg, mida võistlejad läbisid mitmel korral valdavalt teeradu kasutamata (joonis 29, ala nr 1 ja 2) Keskmisest aeglasemaks osutus ka ürgorust ida poole jääv osa, kus esines rohkesti halva

läbitavusega soid ja keskmise läbitavusega metsa (ala nr 4). Viimane liikumiskiirusele piiranguid seadnud ala tuvastati vahetult pärast 21. KP-d, kus läbiti halva läbitavusega ürgoru kõrvalorg (ala nr 3).



**Joonis 29.** GPS teekondade kiirusegraafik teisel rajaosal, kus roheline värv tähistab suurt kiirust, kollane keskmist ning punane aeglast. Sinise joonega tähistatud etapijooned, musta ringiga näidatud aeglasemad kohad.

Ainult läbitavuse põhjal oli võimalik optimaalseid teekondasid leida piirkondades, kus domineeris tasane reljeef. Rõuge maastiku esimene osa sobis selleks hästi ning saadud tulemused kinnitasid, et nendel etappidel arvutuslikult leitud optimaalsed teekonnad osutusid kiireimaks ka reaalsuses. Kõikide pikemate teevalikutega etappide puhul kasutasid kehvema lõppresultaadiga võistlejad pigem rohkem teeradu, vältides sellega halvema läbitavusega alasid. Lisaks jõukulu vähendamisele hoidis teeradadel liikumine jooksu kiirust kõrgemal.

## 5. Järeldused

Läbitavuse järgi arvutuslikult optimaalse teekonna leidmise puhul võib väita, et optimaalset teekonda on võimalik leida tasasematel aladel, kus reljeef teevalikute langetamisel ja joostavusel suurt tähtsust ei oma. Kuna raja alguses (kuni 8 KP-ni) leitud teekond suures osas kattus tegelike parimate teekondadega, võib väita, et kiireimad trajektoorid raja teises pooles (KP 12-25) osutusid ka optimaalseimateks. Samas peab tõdema, et pea kunagi ei leidu ühest kõige kiiremat teevalikut. Orienteerumise eripära selles seisnebki, et parimaid võimalikke teekondi võib olla mitmeid, kus ajaliselt ja teekonna pikkuselt suuri erinevusi ei esine.

Läbitavuse põhjal leitud optimaalsed teekonnad ja nende katseline kontroll kinnitavad, et maastiku läbitavus on suhteliselt hästi kaardistatud ning vastab reaalsusele. See omakorda tähendab, et IOF-i kaardistamisreeglite hinnangulised kiirused peavad vähemalt tipporienteerujate puhul paika ning sobivad hästi antud meetodil orienteerumise alaselts optimaalsete teekondade leidmiseks. See meetod oleks sobilik tähtsamate võistluste radade võistluseelseks testimiseks. Läbitavuse indekseid on lihtsa vaevaga võimalik suurendada või vähendada, sõltuvalt maastiku hetke läbitavusest eri aastaaegadel.

Lauensetein *et al.* (2013) järeldas, et maastikul peab orienteeruja teevaliku langetamisel arvestama oma füüsiliste võimetega, ei kehti Rõuge maastiku puhul selle tasase reljeefi tõttu. Teades maailma parimate võistlejate orienteerumistehnilist võimekust ning võttes arvesse maastiku suhteliselt tasast profiili, võib väita, et need, kes kasutasid etappidel pikemaid teejooksu variante ning liikusid suurel kiirusel, oleksid suure tõenäosusega otse liikudes võitnud nii ajas kui teepikkuses. Olulist tähtsust omab ka võistleja vaimne valmisolek eesolevaks võistluseks. Mida rohkem ollakse varasemalt sarnastel maastikel ja situatsioonides treenitud, seda enesekindlamalt võistleja end tunneb ning vastavalt sellele langetatakse ka võistlussituatsioonis otsuseid (Eccles *et al.* 2009).

GPS-teekondade analüüsi põhjal võib järeldada, et maastiku läbitavusel on otsene mõju teekonnavalikutele. Võistlejad, kes läbisid etappe võimalikult lühikest trajektoori mööda, ei lasknud end läbitavusel mõjutada ning maastikul läbi viidud katse põhjal võib väita, et otse liikudes oli võimalik leida ka hea läbitavusega koridore s.o mikroteevalikuid. Koridorid esinesid peamiselt nt loomaradadena või kaasvõistlejate poolt tekitatud lohadena. Nende võistlejate taktika, kes kasutasid pikemaid teevalikuid

ning teeradu, viitab sellele, et nad pelgasid teeradadeta maastikul liikuda, mis nende arvates osutus aeglaseks. Otse liikudes oli võistlejate üldine liikumiskiirus küll madalam kui ringi joostes, kuid selle arvelt võideti teepikkuses ja ajas, mis osutus lõppkokkuvõttes määravaks. Sarnaselt Gasserile (2018) leidsin oma uurimuses, et eduka soorituse puhul on olulisel kohal teevaliku sujuv ellu viimine, mis eeldab seda, et võistleja omab kindlat plaani ning on kaardilugemisega enda hetke asukohast alati sammu võrra ees.

Kiiruse graafiku põhjal selgus, et aeglasemad kohad olid peamiselt seotud märgaladega, alustaimestiku tihedusega ning raja teises pooles ka reljeefiga. Selgus, et märgalasid ületati nende kõrge veeseisu ja pehmuse tõttu pigem kitsamatest sooribadest. Üheks kiirust aeglustavaks teguriks kaardi järgi hästi läbitavas metsas võis olla ka tuulemurd, mis ei pruugi orienteerumiskaardil olla ajakohastatud.

Tulemustest said osalise kinnituse kõik kolm hüpoteesi. Kehvema lõppresultaadiga võistlejad vältisid enim halvema läbitavusega alasid ning eelistasid liikuda teeradel. Siiski esines ka mõningaid erandeid, kus aeglasemad võistlejad kasutasid liikumiseks lühemaid trajektoore ning kasutasid vähesel määral teeradu. Antud juhul tuleneb ajaline kaotus erinevast füüsilisest tasemest ja/või orienteerumistehnilisest sooritusest. 25 etapist vaid ühel juhul oli kõige kiirema võistleja teekond linnulennulisest üle 20% pikem. Ülejäänud etappidel olid kõige kiiremate võistlejate teekonnad linnulennulisest alla 20%. See osutab üldtendentsile, et Lõuna-Eesti maastikel orienteerudes on lühem teekond alati kiirem, mida kinnitas ka vastava lineaarmudeli suur seletusvõime. Teekondade hajuvuskaartidelt on näha, et üheks hajuvuse põhjuseks on mikroteevalikud, mis üldjuhul tulenevadki maastiku läbitavusest, näiteks tuulemurrust või alustaimestiku tihedusest. Üheks hajuvuse põhjuseks raja teises osas on suure liigestatusega Rõuge ürgorg, kus osad võistlejad on üritanud liigseid tõusumeetreid vältida.

Valdkonna edasisel uurimisel tuleks laiendada uurimisalade hulka, kus tuleks läbi viia testjookse erineva läbitavusega aladel. Selle tulemusel oleks võimalik üldistada ja paika panna tegelikud liikumiskiirused maastikul, mille põhjal saaks koostada täpsema läbitavuse rasterpinna.

## Kokkuvõte

Käesolevas magistritöös uuriti maastiku läbitavuse mõju teekonnavalikutele orienteerumisspordi näitel. Orienteerumine on spordiala, kus võistleja eesmärgiks on rajal olevate KP-de läbimine etteantud järjekorras ning võimalikult lühikese aja jooksul. KP-de vaheline liikumistrajektoor on võistleja poolt vabalt valitav, vältides vaid keelualasid.

Töös võeti vaatluse alla orienteerumise maailmameistrivõistlused, mis toimusid 2017. aasta suvel Lõuna-Eestis. Töös käsitletud distsipliiniks valiti tavarada kui kõige esinduslikum ja teevalikute rohkem distantis. Sellest tulenes ka uurimisala, milleks osutus Rõuge, kus reljeefist sõltuvalt jagunes võistlusmaastik kaheks, laugeks ning suuremate pinnavormidega osaks.

Kasutatud andmeteks olid Rõuge orienteerumiskaart, salvestatud GPS-teenonnad ning maailmameistrivõistluste ametlikud tulemused. Uurimustöö käigus võrreldi tavaraja võistluse parimate teekondi omavahel ning ruumiandmete varal leitud optimaalvariandiga. Arvutuslikult leitud teekondade kontrollimiseks viidi läbi eksperimentaalne testjooks metsas, järgides samu teevalikuid. Võrreldes tulemusi reaalselt läbitud teekondadega, leiti et antud meetod sobib paremini tasasematel aladel läbitavuse põhjal teekondade leidmiseks.

Uurimishüpoteesideks olid:

- Madalama reitinguga orienteerujad väldivad teevalikutel halvema läbitavusega alasid ja eelistavad võimalusel kasutada rohkem teeradasid.
- Lõuna-Eesti maastikul kiireimaks osutunud teevalik ei ole etapipikkusest kunagi pikem kui 20%.
- Vaatlusaluse Rõuge maastiku läbitavus suurendab trajektooride hajuvust.

Tulemused kinnitasid töö hüpoteese osaliselt, mis tähendab, et antud metoodika sobib läbitavuse mõju hindamiseks orienteerumisspordis suhteliselt hästi.

Teekondade analüüsi käigus leiti, et üldjuhul tasub Lõuna-Eesti maastikel orienteerudes liikuda otsejoones ning vältida etapijoonest suuremaid kõrvalekaldumisi. Samuti leidis kinnitust, et parema lõppresultaadiga võistlejad läbivad lühema distantssi kui kehvemad



võistlejad. Peamiseks põhjuseks on see, et kehvemad võistlejad kasutavad jooksmisel pikemaid ringijooksu variante ning väldivad metsas jooksmist.

Töö tulemused ja järeldused võiksid huvi pakkuda Eesti orienteerumiskogukonnale laiemalt ning samuti koondise liikmetele, kes valmistuvad 2018. aasta MM-iks, mis toimub Lätis Siguldas. Rõuge ja Sigulda maastike puhul saab paralleele tõmmata nii läbitavuse kui reljeefi iseärasuste poolest. Antud metoodika võiks olla abiks ka rajameistritele radade planeerimisel, millega oleks võimalik võistlusradade testimisele kuluvat aega vähendada.

# **Impact of landscape permeability to route choices using 2017 World orienteering championship data**

Tõnis Laugesaar

## **Summary**

Current thesis investigates impact of landscape permeability on route choice behaviour in orienteering. The used data included World orienteering championships long distance competition results, GPS data and orienteering map vector data. The aim of current research is to compare route choices with each other and with optimal route based on spatial data analysis.

This research based on Rõuge study area and chosen competition format was long distance, offering wide range of different route choices. According to runnability categories of ISOM 2017 the coefficients of deceleration were used for creating cost surface raster with ArcMap 10.3.1 software. Phenomenons such as vegetation, marshes and roads were included. Relief was excluded in the model due to its insignificant impact on routes. The insignificance was proved by comparison between permeability model and combination of permeability and relief model. There existed minimal impact of relief to the route choices. The optimal routes were found between chosen controlpoints using least-cost path method.

The hypothesis were confirmed partly by the results. Strong correlation was found between competitor's result and traveled distance. In general, the shorter the traveled distance between start and finish, the better the final result and time was. It was found that most competitors with worse final result avoided areas with restricted permeability and preferred running on roads. According to results, in all cases fastest route choices between controlpoints was not longer than 20% of straight line. The route choice variety maps showed that there was no clear choice between controlpoints, which put an orienteer into decision making situation, resulting into wide range of different route options. Additionally, based on GPS data, slower and faster parts of terrain were identified. Weakness of detecting these parts, using GPS data was its irregular coverage of the area.

The results of the current thesis can be used in future for detecting the impact of landscape permeability on other South-Estonian orienteering maps. Subsequently, to get

more exact results, improved methodology involving also relief should be taken into consideration in the future.



## **Tänuavaldused**

Soovin avaldada tänu juhendajale Jüri Roosaarele asjakohaste nõuannete ning meeldiva koostöö eest. Samuti tänan Olle Kärnerit orienteerumisalaste nõuannete eest. Lisaks soovin tänada Eesti Orienteerumisliitu, Tõnis Ermi ning Markus Puuseppa algandmete võimaldamise ning nõuannete eest.

## **Kasutatud kirjandus**

**Almeida, K., 1997.** Decision Making in Orienteering. Scientific Journal of Orienteering, 1/13, 54–64.

**Arnet, F., 2009.** Arithmetical route analysis with examples of the long final courses of the World Orienteering Championships 2003 in Switzerland and 2005 in Japan. Scientific Journal of Orienteering, 17, 4–21.

**Balstrøm, T., 2013.** On identifying the most time-saving walking route in a trackless mountainous terrain. Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography, 1/102, 51–58

**Cych, P., 2006.** Possibilities of and Constraints on the Application of GPS Devices in Controlling Orienteering Training. Studies in Physical Culture and Tourism, 13, 109–115.

**Eccles, D., Walsh, S., Ingledew, D., 2002.** A Grounded Theory of Expert Cognition in Orienteering. Journal of Sports & Exercise Psychology, 1/24, 68–88.

**Eccles, D., Ward, P., Woodman, T., 2009.** Competition-specific preparation and expert performance. Psychology of Sport and Exercise, 1/10, 96–107.

**Gasser, B., A., 2018.** Analysis of speed strategies during World Orienteering Championships. Journal of Human Sport and Exercise, 2/13.

**Glännefors, R., Andersson, G., Greilert, L., Hogedal, L., Anders Tistad, A., 2011.** Teevalik ja punktivõtmine. Treening. Kasulikke nõuandeid orienteerujatele ja nende treeneritele, lk 159–173.

**Hofmann, A., Hoškova, M., Š., Talhofer, V., 2013.** Usage of Fuzzy Spatial Theory for Modelling of Terrain Passability. Advances in Fuzzy Systems (2013), 1–7.

**Hofmann, A., Hoškova, M., Š., Talhofer, V., 2014.** Creation of models for calculation of coefficients of terrain passability. Qual Quant (2015), 49, 1679–1691.

**Klaar, T., 2010.** Orienteerumisest iseõppijatele. 111 lk.

**Kübler, B., 1985.** Decision-Behaviour of the Orienteer – An Analysis of Behaviour Strategies Concerning the Route-Choice. Scientific Journal of Orienteering, 1/1, 43–45

**Külvik, M., K., 2014.** Kaardipõhiste liikumisvalikute analüüs rogaini näitel. Tartu Ülikool.

**Lauenstein, S., Wehrlin, J., P., Marti, B., 2013.** Differences in Horizontal vs. Uphill Running Performance in Male and Female Swiss World-Class Orienteers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11/27, 2952–2958.

**Le, P., Eichler, G., 2017.** Optimal Path Calculation in the Countryside. A Raster-attribute-based Model Approach. *LBAS* (2017), 61–80.

**Lechner, A., Sprod, D., Carter, O., Lefroy, E., 2016.** Characterising landscape connectivity for conservation planning using a dispersal guild approach. *Landscape Ecology*, 1/32, 99–113

**Macquet, A., C., Eccles, D., Barraux, E., 2012.** What Makes an Orienteer an Expert? A Case Study of a Highly Elite Orienteer's Concerns in the Course of Competition. *Journal of Sports Sciences*, Taylor & Francis: SSH Journals, 1/30, 91–99.

**Myrvold, B., O., 1996.** Is it possible to find a “Best” route?: A look at accuracy and significance in route choice comparison. *Scientific Journal of Orienteering*, 1/12, 19–36

**Norouzi, M., 2013.** Application of GPS in Orienteering Competitions. *International Journal of Mobile Network Communications & Telematics (IJMNCT)*, 4/3, 7–11

**Pinto, N., Keitt, T., 2008.** Beyond the least-cost path: evaluating corridor redundancy using a graph-theoretic approach. *Landscape Ecology*, 2/24, 253–266

**Rybansky, M., 2003.** Effect of the Geographic Factors on the Cross Country Movement. *Proceedings of the 21st International Cartographic Conference (ICC), Cartographic Renaissance*, 2449–2454.

**Singleton, P., Gaines, W., Lehmkuhl, J., 2002.** Landscape Permeability for Large Carnivores in Washington: A Geographic Information System Weighted-Distance and Least-Cost Corridor Assessment. Res. Pap. PNW-RP-549. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 89 p

**Suvinen, A., 2002.** Terrain mobility model and determination of optimal off-road route. *ScanGIS* (2003), 251–259.

**Theobald, D., Reed, S., E., Fields, K., Soule, M., 2011.** Connecting natural landscapes using a landscape permeability model to prioritize conservation activities in the United States. *Conservation Letters*, 2/5 ,123–133

### **Internetiallikad**

**Bulletin 4, 2017.** <https://eventor.orienteing.org/Documents/Event/1503/Bulletin-4>  
[Vaadatud 07.05.2018]

**GPS seuranta, 2017.** <http://www.tulospalvelu.fi/gps/gpx/?eventID=2017wocLongM>  
[Vaadatud 15.03.2018]

**IOF kaardikomisjon, 2017.** [http://www.orienteerumine.ee/kaart/ISOM2017\\_Est.pdf](http://www.orienteerumine.ee/kaart/ISOM2017_Est.pdf)  
[Vaadatud 15.03.2018]

**IOF võistlusreeglid, 2017.** <http://orienteing.org/wp-content/uploads/2010/12/Competition-Rules-for-IOF-Foot-Orienteering-Events-valid-from-1-Jan-2017.pdf> [Vaadatud 13.04.2018]

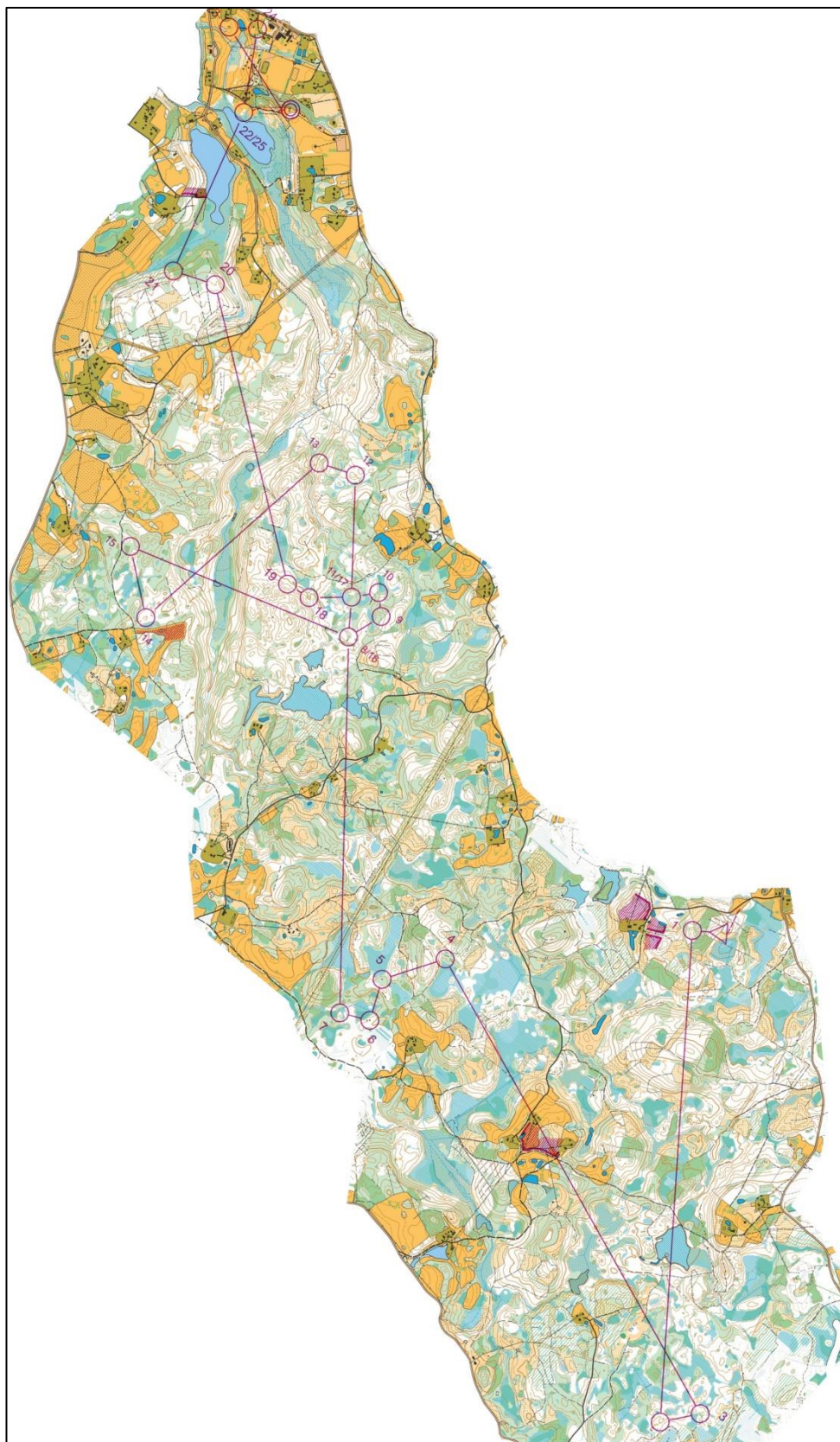
**Metsaportaal.** <https://register.metsad.ee/#/> [Vaadatud 13.04.2018]

**Rõuge orienteerumiskaardi andmed s.a.**

<http://www.orienteerumine.ee/kaart/kaartshow.php?Kood=2017001> [Vaadatud 15.03.2018]

## Lisad

**Lisa 1.** Rõuge orienteerumiskaart (mõõtkava vähendatud). Eesti orienteerumisliit, Madis Oras



## Lisa 2. Võistlejate tegelikud teekonna pikkused etappide lõikes.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	Total(m)
Lõppkoht	etapi pikkus (m)	310	2478	195	2639	318	217	158	1901	198	115	128	598	192	1193	376	1196	190	205	131	1552	222	1045	678	138	416	225	17014
1 Olav Lundanes		346	2786	218	3042	335	246	186	2092	205	145	130	681	196	1355	399	1277	196	232	155	1718	296	1263	741	154	468	225	19087
2 Leonid Novikov		363	2832	202	3085	339	234	180	2067	240	151	155	661	200	1479	478	1486	208	241	151	1823	280	1416	790	151	567	225	20004
3 William Lind		340	3004	210	3077	344	247	180	2101	204	137	138	681	197	1337	398	1303	198	238	153	1815	224	1278	769	149	465	225	19412
4 Magne Daehli		343	2843	219	3148	338	304	171	2112	218	132	184	665	217	1321	414	1333	210	229	146	1699	261	1209	799	145	469	225	19354
5 Eskil Kinneberg		329	2804	215	3268	324	248	167	2088	207	141	167	802	225	1344	405	1267	206	228	156	1694	270	1267	799	144	459	225	19449
6 Daniel Hubmann		351	3523	210	3177	339	245	169	2570	226	121	154	771	199	1462	394	1309	349	240	153	1774	261	1257	767	145	482	225	20873
7 Fabian Hertner		344	2837	224	3124	343	258	172	2597	226	144	161	740	260	1329	388	1334	193	313	139	1820	240	1267	835	146	466	225	20125
8 Johan Runesson		325	2899	221	3134	338	248	180	2270	207	133	154	819	222	1351	409	1293	198	213	139	1849	281	1307	765	145	465	225	19790
9 Martin Regborn		340	3549	219	3107	337	249	165	2554	203	144	156	732	208	1410	400	1330	211	238	141	2037	266	1261	795	177	563	225	21017
10 Timo Sild		340	3623	210	3542	338	252	198	2380	216	130	155	809	214	1445	638	1365	213	277	142	2075	245	1297	851	149	471	225	21800
11 Fredric Portin		347	3053	221	3099	330	253	176	2606	204	135	169	644	210	1373	434	1431	216	235	145	1741	242	1273	796	141	535	225	20234
12 Jan Sedivy		338	2840	224	3145	342	296	167	2132	215	135	140	736	224	1451	396	1273	204	217	148	1823	272	1367	789	142	466	225	19707
13 Hakon Jarvis Westergard		345	2907	222	3646	323	242	171	2566	204	121	144	805	211	1407	663	1463	197	213	138	1812	257	1463	793	158	462	225	21158
14 Gernot Kerschbaumer		335	2899	221	3571	329	246	172	2644	206	149	154	788	227	1418	556	1425	211	245	152	2043	244	1278	822	153	460	225	21173
15 Vincent Coupat		360	3443	223	3155	338	298	171	2111	206	139	172	679	214	1313	399	1296	205	214	150	1956	264	1389	750	145	465	225	20280
16 Kenny Kivikas		333	2832	240	3530	343	252	188	2281	234	181	230	810	199	1915	404	1381	210	407	139	2075	326	1455	767	150	456	225	21563
17 Tue Lassen		403	2853	228	3436	327	246	188	2179	231	155	164	835	220	1517	430	1396	206	272	132	2041	245	1291	762	148	474	225	20604
18 Ralph Street		335	3547	222	3557	328	308	170	2113	209	134	147	726	222	1473	401	1261	198	215	147	1833	227	1374	763	148	460	225	20743
19 Miika Kirmula		336	3587	353	3605	333	249	220	2713	207	140	187	833	212	1383	525	1648	210	231	151	1662	301	1402	790	150	545	225	22198
20 Arturs Paulins		337	2853	263	3108	347	250	173	2288	212	120	146	786	209	1384	547	1332	197	256	139	1642	260	1325	765	142	529	225	19835
21 Frederic Tranchand		335	3676	208	3951	371	313	176	2700	235	138	154	861	211	1323	535	1361	553	320	147	1849	337	1566	847	146	464	225	23002
22 Milos Nykodym		339	2733	207	3040	360	245	180	2621	221	134	166	819	221	1500	410	1318	254	234	143	2001	234	1279	762	147	474	225	20267
23 Nicolas Rio		358	3360	223	3478	331	262	183	2560	205	136	189	739	213	1359	410	1397	206	329	145	1660	264	1374	740	147	470	225	20963
24 Aleksei Alekseyonok		336	3041	250	3487	330	262	184	2641	207	130	147	865	231	1459	425	1484	382	241	144	1744	230	1383	769	150	571	225	21318
25 Alan Cherry		340	2856	256	3604	326	263	201	2703	226	140	161	650	221	1530	434	1511	214	251	163	1891	279	1303	775	151	471	225	21145
26 Rudolfs Zernis		423	2767	301	3107	410	254	278	2116	217	136	153	799	243	1462	584	1387	207	265	138	1671	352	1357	795	154	471	225	20272
28 Denys Shcherbakov		346	3310	247	3461	329	239	176	2182	208	129	137	758	317	1331	391	1496	201	260	153	1766	233	1295	797	150	466	225	20603
29 Simonas Krepsta		352	3587	226	3665	323	242	190	2586	207	131	187	835	215	1380	572	1376	213	320	157	1850	253	1336	751	150	477	225	21806

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Tõnis Laugesaar (sünniküüpäev 03.07.1994),

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Maastiku läbitavuse mõju teekonna valikutele 2017. a orienteerumise maailmameistrivõistluste tavaraja näitel“,

mille juhendaja on Jüri Roosaare,

- 1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
  - 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **28.05.2018**